

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

“Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca, 2024”

Tesis para optar al título profesional de Ing. civil

Autores:

**Cristian Mijael Segura Campos
Julio César Torres Sánchez**

Asesor:

Dra. Ing. Carmen Rosa Cárdenas Rosales

Coasesor:

MSc. Ing. Carlos Tapia Cabrera

Chota - Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA



CARTA N° 04-2026-UNACH/UI/MAST

A : **Dr. Juan Esteban Gonzales García**
Presidente del jurado de tesis FCI-UNACH.

ASUNTO : Constancia de Originalidad de Turnitin de CRISTIAN MIJAEL SEGURA CAMPOS Y JULIO CÉSAR TORRES SÁNCHEZ.

FECHA : Colpa Matara, 16 de abril del 2026.

REFERENCIA: i) Envío de tesis en digital en su versión final
ii) INFORME N° 024-2026-UNACH-FCI-EPIC-DAIC/JEGG / Conformidad por parte del presidente del jurado de tesis.
iii) INFORME N° 003-2026-UNACH/CEBN / Conformidad por parte del secretario del jurado de tesis.
iv) INFORME N.º IX A- 2026 -II- VBLR/UNACH / Conformidad por parte del vocal del jurado de tesis

De mi mayor consideración

Es grato dirigirme a Usted para expresar mi saludo, y a la vez alcanzar la constancia de originalidad de TURNITIN de la tesis denominada: **“CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE LOS DESLIZAMIENTOS MEDIANTE REFRACCIÓN SÍSMICA, MASW, MASW2D Y MSFCEN EN EL SECTOR LAGUNAS, PROVINCIA DE CHOTA-CAJAMARCA, 2024”**, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil **CRISTIAN MIJAEL SEGURA CAMPOS Y JULIO CÉSAR TORRES SÁNCHEZ**, para continuar con sus trámites ante la UNACH.

Sin otro particular, es propicia la ocasión para reiterarle las muestras de mi distinguida consideración y estima.

Atentamente,



Miguel Ángel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL
Nº 127732

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo
Director de la unidad de
investigación FCI-UNACH

CC.

Archivo

Adjunto:

- 1) Constancia de originalidad N° 04-2026.
- 2) Reporte TURNITIN



Colpa Matara, 16 de abril del 2026.

C.O. N° 04-2026-UI-EPIC

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD Y USO DE IA

El que suscribe, Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis titulado: **“CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE LOS DESLIZAMIENTOS MEDIANTE REFRACCIÓN SÍSMICA, MASW, MASW2D Y MSFCEN EN EL SECTOR LAGUNAS, PROVINCIA DE CHOTA-CAJAMARCA, 2024”**, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil: **CRISTIAN MIJAEL SEGURA CAMPOS Y JULIO CÉSAR TORRES SÁNCHEZ**, para optar el Título Profesional de ingeniero civil, presenta un índice de similitud de 7% excluyendo texto citado, bibliografía y fuentes que tengan coincidencias de menos de 10 palabras, no teniendo un porcentaje de escritura con inteligencia artificial; por lo tanto, cumple con los criterios de evaluación de originalidad establecidos en el acápite g) del artículo 20 del Reglamento de Grados y Títulos UNACH, aprobado mediante la Resolución C.O. N° 120-2022-UNACH con fecha de 03 de marzo de 2022.

Se expide la presente, en conformidad a la directiva antes mencionada, para los fines que estime pertinentes.


Miguel Ángel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL
Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo
Director de la unidad de
investigación FCI-UNACH

CRISTIAN SEGURA CAMPOS

CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE LOS DESLIZAMIENTOS MEDIANTE REFRACCIÓN SÍSMICA, MASW, MASW2D Y MSFCE...

-  Informe Final de Tesis
-  UNIDAD DE INVESTIGACION FIC 2026
-  Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega**trn:oid:::1:3540230904****Fecha de entrega****16 abr 2026, 6:40 p.m. GMT-5****Fecha de descarga****16 abr 2026, 6:54 p.m. GMT-5****Nombre del archivo****001-JSTS-CMSC-INFORME_FINAL-v3.final_TNT.pdf****Tamaño del archivo****16.1 MB****211 páginas****43.394 palabras****227.547 caracteres**

Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales
Asesora

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales
Asesora

Fuentes principales

- 6% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 3% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unach.edu.pe	1%
2	Internet	hdl.handle.net	<1%
3	Internet	cicese.repositorioinstitucional.mx	<1%
4	Internet	vsip.info	<1%
5	Internet	repositorio.unsa.edu.pe	<1%
6	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
7	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
8	Internet	repositorio.urp.edu.pe	<1%
9	Internet	repositorio.upla.edu.pe	<1%
10	Internet	dspace.ucuenca.edu.ec	<1%
11	Internet	www.researchgate.net	<1%

Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales
Asesora

12	Publicación	HIDROSUELOS S.A.S., SUCURSAL DEL PERU. "Instrumento de Gestión Ambiental C...	<1%
13	Publicación	INGENIEROS AMBIENTALES S.A.C.. "PAMA de la Sucursal Ferreyros Cajamarca de I...	<1%
14	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
15	Internet	bibliotecas.unsa.edu.pe	<1%
16	Internet	docplayer.es	<1%
17	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann	<1%
18	Trabajos del estudiante	Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador	<1%
19	Trabajos del estudiante	aesanlucas	<1%
20	Internet	www.mdpi.com	<1%
21	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%
22	Internet	www.fundaciongarciasineriz.es	<1%
23	Internet	fud.edu.ng	<1%
24	Publicación	Gonzalo García, PabloAndrés Cahiza, M.Lourdes Iniesta. "Effectiveness and Limita...	<1%
25	Internet	creativecommons.org	<1%

Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales
Asesora

26	Publicación	Cuaical Chaves, Lady Viviana. "Integración de recursos TIC para el desarrollo de l...	<1%
27	Internet	documents.mx	<1%
28	Internet	www.tesis.luz.edu.ve	<1%
29	Internet	chanpin.gongchang.com	<1%
30	Publicación	Hasan Karaaslan, Ali Silahtar, Sefik Ramazanoglu. "Characterization of an active l...	<1%
31	Internet	1library.co	<1%
32	Internet	saber.ucv.ve	<1%
33	Trabajos del estudiante	unjbg	<1%
34	Trabajos del estudiante	Mondragon Unibertsitatea	<1%
35	Internet	renati.sunedu.gob.pe	<1%
36	Internet	tesis.ucsm.edu.pe	<1%
37	Internet	repositorio.puce.edu.ec	<1%
38	Internet	repositorio.uct.edu.pe	<1%
39	Trabajos del estudiante		

Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales
Asesora

Universidad Ricardo Palma

<1%

40	Internet	repositorio.upt.edu.pe	<1%
41	Trabajos del estudiante	Ana G. Méndez University	<1%
42	Publicación	Jewel E. Thomas, Ndifreke I. Udosen. "High-resolution seismic refraction tomogra...	<1%
43	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
44	Internet	revistas.unipamplona.edu.co	<1%
45	Internet	caelum.ucv.ve	<1%
46	Internet	es.slideshare.net	<1%
47	Internet	sedici.unlp.edu.ar	<1%
48	Trabajos del estudiante	BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA	<1%
49	Trabajos del estudiante	Universidad Andina del Cusco	<1%
50	Trabajos del estudiante	Universidad Regional Amazónica IKIAM	<1%
51	Internet	archive.org	<1%
52	Internet	bibliotecas.ucasal.edu.ar	<1%
53	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%

Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales
Asesora

54	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%
55	Trabajos del estudiante	Costa Rica Institute of Technology	<1%
56	Publicación	Matto Monge, Karina Rojas, Omar Antonio Paredes. "Efectos del programa "Inter...	<1%
57	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%
58	Internet	repositorio.unesum.edu.ec	<1%
59	Trabajos del estudiante	Universidad Catolica San Antonio de Murcia	<1%
60	Internet	cienciadigital.org	<1%
61	Internet	issuu.com	<1%
62	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
63	Internet	repositorio.ug.edu.ec	<1%
64	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
65	Internet	repositorio.undac.edu.pe	<1%
66	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
67	Internet	revistagi.geofisica.unam.mx	<1%

Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales
Asesora

68 Internet

worldwidescience.org <1%

69 Internet

www.cirugest.com <1%

70 Internet

www.cyberline.com.pe <1%



Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales
Asesora



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 01:00 p.m. del día 30 de julio, reunidos en la sala de docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, los miembros del jurado de tesis que suscriben, para escuchar y evaluar la sustentación de tesis presentado por los bachilleres: : Cristian Mijael Segura Campos y Julio César Torres Sánchez, denominada: "Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASWA2D Y MSFCEN en el sector lagunas, provincia de Chota- Cajamarca 2024"; escuchada la sustentación, y absueltas las preguntas a las observaciones formuladas, la declaramos:

Aprobado con mención honrosa

CON EL CALIFICATIVO (*)

15 (QUINCE)

En consecuencia, se le declara **EXPEDITOS** para conferirle el Título de Ingeniero civil, elevando la presente acta al decano de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería a fin de que se emita el acto resolutivo, en conformidad con la ley universitaria y el estatuto de la Universidad.

Chota, 30 de julio del 2026.

Dr. Juan Esteban Gonzales García

PRESIDENTE

Mg. Karina del Rocio Silva Tarrillo

ACCESITARIO

Dra. Claudia Emilia Benavidez Núñez

VOCAL

Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales

ASESOR

M.Sc. Carlos Tapia Cabrera

CO ASESOR

(*) De acuerdo al reglamento específico del proyecto y tesis de investigación de la EPIC, aprobada con Resolución de coordinación N° 141-2020, Artículo 21, cuya calificación es: (20 Summa Cum Laude); (18-19: Aprobado con excelencia); (15-17: Aprobado con mención honrosa); (12-14: Aprobado); (0-11: Desaprobado).

DEDICATORIA

A Dios, por el don de la vida, la salud y la fortaleza; que me han permitido alcanzar las metas propuestas. Una de ellas, culminar con éxito esta investigación.

A mi madre, María Teodolinda Campos, por su Amor incondicional, esfuerzo constante y la confianza depositada en mí, siendo siempre mi mayor fuente de inspiración. A mis hermanos, por su motivación y ejemplo de perseverancia, forjando la base de mi educación.

Segura Campos, Cristian Mijael.

Dedico este trabajo a mi familia, por ser la base de mi fortaleza y motivación. A mis padres, por apoyarme a cumplir mis metas. Este logro también les pertenece.

Julio César Torres Sánchez.

AGRADECIMIENTOS

Con profundo agradecimiento y respeto, queremos reconocer la valiosa colaboración a nuestra asesora Dra. Ing. Carmen Rosa Cárdenas Rosales y nuestro coasesor MSc. Ing. Carlos Tapia Cabrera. Además, a todas las personas que contribuyeron al desarrollo de este proyecto, reflejando el esfuerzo colectivo y el compromiso con el conocimiento e investigación.

Agradecemos, al Instituto de Investigación de la Universidad Nacional Autónoma de Chota y a su equipo técnico, cuya colaboración fue fundamental para la ejecución y desarrollo de esta investigación.

Un agradecimiento especial al Dr. Arturo Santos Zevallos Flores cuya experiencia y orientación en el desarrollo de la investigación fueron esenciales.

Índice de contenidos

CAPÍTULO I	INTRODUCCIÓN	19
1.1	Planteamiento del problema.....	19
1.1.1	Descripción del problema.....	19
1.1.2	Definición y delimitación.....	20
1.2	Formulación del problema	24
1.2.1	Pregunta general.....	24
1.2.2	Preguntas específicas.....	24
1.2.3	Enunciar el problema	24
1.3	Justificación	26
1.3.1	Justificación científica.....	26
1.3.2	Justificación técnica	26
1.3.3	Justificación socioeconómica.....	27
1.4	Objetivos	27
1.4.1	Objetivo general	27
1.4.2	Objetivos específicos.....	28
CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO	29
2.1	Antecedentes	29
2.1.1	Antecedentes internacionales	29
2.1.2	Antecedentes nacionales	34
2.1.3	Antecedentes locales	36
2.2	Bases teórico–científicas.....	40
2.2.1	La geológica regional y su influencia en los movimientos en masa. ...	40

2.2.2	Las formaciones geológicas local y su influencia en los movimientos en masa.....	44
2.2.3	Geomorfología	50
2.2.4	Clasificación de movimiento de masas respecto a los tipos de materiales y tipos de movimiento de masa	52
2.2.5	Estados de activación de un deslizamiento respecto a la geometría del terreno	56
2.2.6	Exploración geofísica y la relación con la presencia de finos (Lutitas).....	58
2.2.7	Exploración de detección de frecuencias y la relación con la presencia de agua	59
2.2.8	Clasificación del suelo según International Building Code (IBC).....	61
2.2.9	Clasificación del suelo de acuerdo con la Norma Técnica Peruana de Diseño Sismorresistente (E.030).....	62
2.2.10	Clasificación del tipo del suelo según la norma ASTM D5777.....	63
2.3	Marco conceptual.....	64
2.3.1	Movimiento en masa	64
2.3.2	Parámetros de sitio	67
2.3.3	Parámetros elásticos del suelo.....	67
2.3.4	Formación geológica	69
2.3.5	Activación y velocidad del movimiento de los deslizamientos	70
2.3.6	Métodos geofísicos refracción sísmica, MASW y MASW-2D estático	70
2.3.7	Ondas sísmicas	79
2.4	Hipótesis	84

2.4.1	Hipótesis general	84
2.4.2	Hipótesis específica.....	84
2.5	Operacionalización de variables	85
2.5.1	Variable única	85
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO		89
3.1	Tipo y nivel de investigación.....	89
3.2	Diseño de investigación	92
3.3	Métodos de investigación	93
3.4	Población, muestra y muestreo	94
3.4.1	Ubicación	94
3.4.2	Población.....	95
3.4.3	Muestra.....	96
3.4.4	Muestreo.....	99
3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	102
3.5.1	Técnicas de recolección de datos	102
3.5.2	Instrumentos	103
3.6	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	106
3.6.1	Proceso de obtención de datos	106
3.6.2	Procesamiento de datos	109
3.6.3	Análisis de datos.....	111
3.7	Aspectos éticos.....	115
3.7.1	Reglamento General del Código de Ética para Investigación científica de la UNACH - Artículo 16°. Comportamiento honesto	115
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		116

4.1	Resultados	116
4.1.1	Estado de los deslizamientos.....	116
4.1.2	Tipos de deslizamiento presentes en el sector Lagunas	123
4.1.3	Resultados del ensayo geomagnético-perfiles de detección de frecuencias.	139
4.1.4	Resultado de los perfiles de la estratigrafía sísmica.....	150
4.2	Discusión de resultados.....	190
4.2.1	Discusión de los resultados recopilados del estado de activación de los deslizamientos	190
4.2.2	Discusión de los resultados recopilados de los tipos de los deslizamientos.....	194
4.2.3	Discusión de los resultados del ensayo geomagnético-perfiles de detección de frecuencias	196
4.2.4	Discusión de los resultados registrados de los perfiles sísmicos	200
4.3	Contrastación de la hipótesis	212
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		215
5.1	Conclusiones	215
5.2	Recomendaciones	218
CAPÍTULO VI REFERENCIAS		220
CAPÍTULO VII ANEXOS		230
Anexo A. Matriz de consistencia		230
Anexo B. Características de los deslizamientos		233
Anexo C. MASW-1D.....		244
Anexo D. Parámetros elásticos		256

Anexo E. MSFCEN	268
Anexo F. MASW-2D.....	276
Anexo G. Mapas del área de estudio	280
Anexo H. Registro fotográfico.....	284

Índice de tablas

Tabla 1 Los tipos de materiales respecto a los movimientos en masa.....	52
Tabla 2 Representación gráfica de los principales procesos de inestabilidad del terreno.	53
Tabla 3 Denominación de tipos de suelos según el IBC.....	61
Tabla 4 Clasificación de los perfiles del suelo según la NTP E.030	63
Tabla 5 Clasificación según la normativa ASTM D5777	64
Tabla 6 Rangos usuales de variación de la velocidad Jakovsk	81
Tabla 7 Operacionalización de variables	86
Tabla 8 Tipo de investigación según criterios	91
Tabla 9 Localización del tendido de las líneas en el sector Lagunas.....	97
Tabla 10 Tabla de criterios de inclusión y exclusión.....	101
Tabla 11 Fichas y guía de observación para la recolección de datos.....	104
Tabla 12 Fichas para recolección de datos.....	105
Tabla 13 Fichas para recolección de datos.....	106
Tabla 14 Muestra los valores resumidos del ensayo MSFCEN.....	149
Tabla 15 Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-01/Zona 1	153
Tabla 16 Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-02/Zona 1	154
Tabla 17 Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-03/Zona 1	155
Tabla 18 Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-04/Zona 2	156
Tabla 19 Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-05/Zona 2	157
Tabla 20 Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-06/Zona 2	158
Tabla 21 Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-07/Zona 3	159
Tabla 22 Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-08/Zona 3	160
Tabla 23 Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-09/Zona 3	161

Tabla 24 Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-10/Zona 4	162
Tabla 25 Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-11/Zona 4	163
Tabla 26 Velocidades primarias y espesor de los estratos obtenidos en la investigación	164
Tabla 27 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-01	169
Tabla 28 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-02.....	170
Tabla 29 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-03.....	171
Tabla 30 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-04.....	172
Tabla 31 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-05.....	173
Tabla 32 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-06.....	174
Tabla 33 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-07.....	175
Tabla 34 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-08.....	176
Tabla 35 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-09.....	177
Tabla 36 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-10.....	178
Tabla 37 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-11.....	179
Tabla 38 Tabla resumen de la estratigrafía de los sondeos de MASW.....	180
Tabla 39 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-2D 01	184
Tabla 40 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-2D 02.....	185
Tabla 41 Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-2D 03	186
Tabla 42 Tabla resumen de la estratigrafía de los sondeos de MASW-2D	187
Tabla 43 Tabla resumen de los valores promedio de los parámetros elásticos.....	188
Tabla 44 Clasificación sísmica del Suelo – Sector Lagunas.....	208

Índice de figuras

Figura 1 Cuadro estratigráfico de la región de Cajamarca	42
Figura 2 Mapa geológico de la región de Cajamarca	43
Figura 3 Formaciones geológicas (estratigrafía) del cuadrángulo 14f - ciudad de Chota	44
Figura 4 Mapa de la geología del cuadrángulo 14f de la ciudad de Chota.....	45
Figura 5 Formación Chota	46
Figura 6 Formación Celendín	47
Figura 7 Formación Quilquiñan-Mujarrúm	48
Figura 8 Formación Cajamarca.....	49
Figura 9 Mapa de geomorfología local.....	51
Figura 10 Clasificación de deslizamientos de tierra según el mecanismo de movimiento y material	55
Figura 11 Estado de un deslizamiento y desplomes en diferentes estados de actividad	57
Figura 12 Método de Selección de Frecuencias de Campo eléctrico natural - Instrumentation Hunan Puqi Geologic Exploration Equipment Institute.....	60
Figura 13 Deslizamiento sector Lagunas.....	65
Figura 14 Parte (1) presenta las características morfológicas de un deslizamiento rotacional y la parte (2) sus dimensiones.....	66
Figura 15 Esquema de la trayectoria de rayos por refracción.....	72
Figura 16 Ilustración del procedimiento general	74
Figura 17 Imágenes de dispersión	76
Figura 18 Velocidad de propagación	76
Figura 19 Distribución del modo fundamental y superior en la curva de dispersión.	78
Figura 20 Elemento de una onda	79

Figura 21 Ondas primarias.....	81
Figura 22 Ondas secundarias	82
Figura 23 Ondas Love.....	82
Figura 24 Ondas Rayleigh	83
Figura 25 Ondas superficiales e internas	83
Figura 26 Diseño de investigación descriptivo.....	92
Figura 27 Ubicación de la ciudad de Chota.....	94
Figura 28 Ubicación del área de estudio en la ciudad de Chota	95
Figura 29 Zona de trabajo EVAR-134.4 hectáreas.....	95
Figura 30 Área de estudio.....	99
Figura 31 Se visualiza la distribución de la líneas electromagnéticas y geofísicas: A) Ensayo de frecuencia natural; B) Ensayo MASW 1D; C) Ensayo de refracción sísmica y D) Ensayo de MASW 2D estático.	100
Figura 32 Obtención de datos del programa SeisImager	110
Figura 33 Procedimiento en el procesamiento de datos empleado para la refracción sísmica	112
Figura 34 Procedimiento en el procesamiento de datos empleado para MASW 1D Y MASW-2D estático.....	113
Figura 35 Procesamiento del método MSFCEN.....	114
Figura 36 Área de los deslizamientos 1(A) y 1(B)	117
Figura 37 Vista del área de evaluación asentado sobre vertiente o piedemonte coluvio- deluvial (V-cd).....	118
Figura 38 Mapa de alturas	120
Figura 39 Mapa de pendientes	120

Figura 40 Avance de deslizamiento durante los años 2011, 2015, 2019 y 2024.....	121
Figura 41 Pie del deslizamiento en proceso de reactivación en periodo de invierno	122
Figura 42 Aumento de área de la laguna del amor en los años 2011, 2015, 2019 y 2024 ..	122
Figura 43 Área de trabajo del deslizamiento N.º 2	123
Figura 44 Vista de los depósitos bofedales, saturados en agua, ubicados en la zona de deslizamiento	124
Figura 45 Vista de los depósitos de conglomerados, con bloques y gravas en matriz areno- limosa.....	125
Figura 46 Socavación y erosión de la Formación Celendín y presencia de estratos de calizas.....	126
Figura 47 Vista de la masa deslizada con afloramiento hídrico	127
Figura 48 Vista del deslizamiento 1(a).....	130
Figura 49 Vista panorámica del deslizamiento 1(b)	130
Figura 50 Deslizamiento rotacional N.º 2.....	131
Figura 51 Derrumbe activo en el sector Lagunas	131
Figura 52 Reptación, con presencia de movimiento lento, con disposición en los árboles..	132
Figura 53 Análisis de precipitaciones en el año 2021: estación Chota.....	135
Figura 54 Afloramiento hídrico (puquio), dentro del área de estudio	136
Figura 55 Mapa de afloramiento de agua en el sector Lagunas.....	136
Figura 56 Deslizamientos del sector Lagunas y su dirección.....	138
Figura 57 Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 01.....	142
Figura 58 Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 02.....	143
Figura 59 Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 03.....	144
Figura 60 Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 04.....	145

Figura 61 Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 05.....	146
Figura 62 Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 06.....	147
Figura 63 Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 07.....	148
Figura 64 Deslizamiento 1(b) que se activó en el 2021, actualmente en proceso de reactivación	191
Figura 65 Mapa de pendientes del año 2021 y 2024 respectivamente	192
Figura 66 Escarpe del deslizamiento 1(A).....	196

Índice de abreviaturas

Métodos geofísicos: Se refiere a las técnicas que estudian las propiedades físicas del subsuelo mediante la medición de respuestas naturales o inducidas, en el caso de la investigación se utilizó los ensayos LRS, MASW y MASW-2D, con unidad de medida fue metros por segundo (m/s).

Métodos geomagnéticos: Método geofísico pasivo que mide las variaciones espaciales, y temporales del campo magnético terrestre natural para inferir la distribución de la magnetización en el subsuelo, asociada a estructuras geológicas, cuerpos minerales y materiales conductores, con medidas en milivoltios (mV).

LRS: Línea de refracción sísmica.

MASW: Análisis Multicanal de Ondas Superficiales.

MSFCEN: Método de selección de frecuencias de campo eléctrico natural.

PQWT: Detector de Agua de Mapeo Automático.

ASTM D5777: Guía estándar para el uso del método de refracción sísmica en investigaciones del subsuelo.

NTP E.030: Norma Técnica Peruana de Diseño Sismorresistente.

V_p: Velocidades primarias.

V_s: Velocidades secundarias.

INGEMMET: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

DEM: Modelo Digital de Elevaciones.

IBC: International Building Code.

Resumen

Lo investigado presentó como objetivo, caracterizar geométricamente mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN de los deslizamientos presentes en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca durante el año 2024. Para ello, se realizó la descripción y correlación de la geología y geomorfología, con énfasis en la interpretación de perfiles geosísmicos y geomagnéticos, lo que permitió obtener información sobre el estado de actividad, tipo de movimiento, estratigrafía del subsuelo y presencia de suelos saturados.

Los resultados evidenciaron que el deslizamiento principal se subdivide en dos sectores: el deslizamiento 1A, clasificado como activo, y el deslizamiento 1B, en proceso de reactivación. Asimismo, el deslizamiento 2 fue clasificado como activo. La presencia de morfología cóncava, escarpes definidos y zonas de acumulación permitió clasificar los movimientos como deslizamientos de tipo rotacional.

Los estudios geomagnéticos permitieron identificar tres estratigrafías, con valores de potencial eléctrico de 0.00 - 0.10, 0.10 - 0.45 y mayor a 0.45, caracterizando el subsuelo hasta 300 m de profundidad, e identificando zonas saturadas y posibles planos de falla.

Los estudios sísmicos definieron tres estratos principales hasta 25 m de profundidad. La refracción sísmica clasificó cuatro tipos de suelo según ASTM D5777, con velocidades entre 300 a 3149 m/s. Los resultados MASW clasificó suelos S1 y S2 según NTP E.030; además en C y D según IBC, con velocidades entre 200 a 937 m/s; mientras que MASW-2D identificó mayormente suelos S2 entre 183 y 658 m/s, confirmando la utilidad de los Métodos geofísicos y geomagnéticos para la caracterización de deslizamientos.

Palabras clave: geomagnéticos, geosísmicas, deslizamiento, lutas.

Abstract

The objective of the research was to geometrically characterize, using seismic refraction, MASW, MASW-2D, and MSFCEN, the landslides present in the Lagunas sector, Chota-Cajamarca province, during the year 2024. To this end, the geology and geomorphology were described and correlated, with an emphasis on the interpretation of geoseismic and geomagnetic profiles, which provided information on the state of activity, type of movement, subsoil stratigraphy, and presence of saturated soils.

The results showed that the main landslide is subdivided into two sectors: landslide 1A, classified as active, and landslide 1B, in the process of reactivation. Likewise, landslide 2 was classified as active. The presence of concave morphology, defined escarpments, and accumulation zones allowed the movements to be classified as rotational landslides.

Geomagnetic studies identified three stratigraphies, with resistivity values of 0.00–0.10, 0.10–0.45, and greater than 0.45, characterizing the subsoil to a depth of 300 m and identifying saturated zones and possible fault planes.

Seismic studies defined three main strata up to a depth of 25 m. Seismic refraction classified four soil types according to ASTM D5777, with velocities between 300 and 3149 m/s. MASW results classified soils as S1 and S2 according to NTP E.030; and C and D according to IBC, with velocities between 200 and 937 m/s; while MASW-2D identified mostly S2 soils between 183 and 658 m/s, confirming the usefulness of geophysical and geomagnetic methods for landslide characterization.

Keywords: geomagnetic, geoseismic, landslide, shale.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Descripción del problema

Las causas de un deslizamiento son muchas, entre estas condiciones de activación se logran discernir tres razones principales, estas son: el tipo de material que conforma su estratigrafía (tipo de suelo), las precipitaciones excesivas y la posible presencia de aguas subterráneas como mencionó (Guzmán, 2022). El caso del sector Lagunas, se caracteriza por existencia de manantiales y niveles freáticos altos, además, de presentar formaciones geológicas predominantemente arcillosas, rocas sedimentarias. Se encuentra situado en una zona de lluvias excesivas como la cordillera de los Andes, por lo que se entiende que las condiciones de activación de deslizamientos son idóneas, si no se realizan estudios geosísmicos y geomagnéticos para su caracterización, esto será un gran problema para toda la ciudad de Chota.

Por lo tanto, la investigación busca comprender estas falencias, caracterizando geométricamente al deslizamiento, entendiendo así: cuál es su estado actual de activación, así como su estratigrafía sísmica, el tipo de deslizamiento e identificación de zonas con indicios de humedad o saturación. No obstante, esto no es más que el comienzo, se busca no solo entender el deslizamiento, sino promover la investigación del mismo. La existencia del deslizamiento es una fuente de conocimiento a tomar en cuenta, así entender la causa de los deslizamientos, obteniendo opciones de solución frente a otros peligros similares.

La existencia del deslizamiento del sector Lagunas no se limita a su actual magnitud, anteriormente ha tenido múltiples activaciones según los pobladores, pero, la única registrada en un informe es la activación del 2021; presentó múltiples daños para los pobladores y el terreno circundante al deslizamiento. Frente a la activación del 2021 y tras presentarse como un problema a tener en cuenta para la ciudad, se busca asistencia técnica al Instituto Geológico

Minero y Metalúrgico (INGEMMET) para poder analizar el impacto originado por el deslizamiento, generándose así el EVAR titulado: “Evaluación de deslizamiento rotacional en sector Lagunas, distrito Chota, provincia Chota, departamento Cajamarca” publicado el año 2022, en el cual se detalla la peligrosidad que representan los deslizamientos para el sector Lagunas (área la Laguna del Amor), dándole el carácter de “**PELIGRO MUY ALTO**” a la zona según (León y Zavaleta, 2022).

Esta última activación en el año 2021, presentó un daño irreparable para el desarrollo de la ciudad, impidiendo el crecimiento de la misma hacia esta zona, “además de generar la destrucción de 3 viviendas, la inhabilitación 7 viviendas y la afección de 4 viviendas, además de colapsar el estribo del puente del sector y destruir áreas de cultivo de papa y maíz” en base a su informe de (León y Zavaleta, 2022). Los deslizamientos generan inseguridad y es uno de los principales peligros causados por fenómenos meteorológicos, busquemos la forma de controlarlo o mitigarlo, mediante el método científico.

1.1.2 Definición y delimitación

Los deslizamientos de tierra se definen como un fenómeno natural de gran cantidad de macizo rocoso, tierra y/o escombros se desplazan relativamente rápido hacia abajo a lo largo de la superficie de una pendiente debido a una combinación de los factores internos, como los tipos de rocas, suelos (terrenos) y las fallas, proporcionando el material o elemento fundamental para los deslizamientos de tierra, mientras que, los factores externos como las precipitaciones, los terremotos, la construcción de embalses y la construcción de carreteras (grandes cortes de talud), a menudo desencadenan desastres por deslizamientos de tierra según (Zhao et al., 2024).

Si la caracterización y mitigación de daños no se logra a tiempo, se corre el riesgo de la reactivación del deslizamiento por algún agente externo (generalmente agua infiltrada o subterránea, fenómenos geofísicos o meteorológicos), transformándose en un riesgo, escalable a desastre, que afectará a todo el entorno interno y circundante al deslizamiento, incluyendo a

los pobladores del sector. Es por esto que se considera imperecedero la caracterización de todos los posibles deslizamientos que puedan ser considerados peligrosos para el ser humano según (Zevallos et al., 2025).

En el contexto mundial se encuentran un sinnúmero de ejemplos de deslizamientos, además, de estudios referidos a los mismos, generalmente utilizando métodos no destructivos (Métodos geofísicos y geomagnéticos); estos se presentan como una oportunidad de entender las características de los deslizamientos, así como un peligro o desastre a ser controlado y/o subsanado, dependiendo del lugar y daños presentados por el mismo. Aun con este cambio de paradigma, los deslizamientos son considerados un fenómeno de la naturaleza, por lo que sea o no investigado representa un riesgo, por lo tanto, es imperecedero el investigarlo y evaluarlo, en otras palabras, caracterizarlo, tal es el caso del deslizamiento en Phuentsholing-Himalaya, el cual fue caracterizada mediante técnicas de tomografía de refracción sísmica y métodos de análisis multicanal de ondas superficiales según (Sarkar et al., 2021). Mostrándonos lo útil que pueden llegar a ser los Métodos geofísicos para entender la dinámica interna del suelo, por lo tanto, lo valioso que pueden ser para la ingeniería civil.

En el contexto continental los retos en la ingeniería, sobre los movimientos en masa también está presente, aunque, se han arraigado los Métodos geofísicos para la investigación hasta hace relativamente poco; mostrando una clara falencia respecto a la investigación de deslizamientos con Métodos geofísicos y geomagnéticos, a su vez, la falta de investigación ha impedido el correcto control del mismo, limitando el diagnóstico a la experiencia de los expertos (especialistas) en mecánica de suelos a cargo de las investigaciones. Las teorías ya desarrolladas en otros países a falta de equipos que les permitan evaluar el deslizamiento in situ, presentando así escenarios desafortunados en múltiples lugares del continente, por ejemplo, (Corporación Radiotelevisión Española [RTVE], 2022) “el caso de Petrópolis-Brasil,

que ocurrió más de 1.400 deslizamientos de tierra en varias zonas de la ciudad. 204 fallecidos por la catástrofe, mientras las búsquedas por los 51 desaparecidos”.

Mostrándonos lo vulnerables que somos frente a los movimientos de tierra y los peligros que acarrearán por la falta de una buena caracterización, paso preliminar indispensable para una buena gestión de riesgos. También, lo útil que pueden llegar a ser los Métodos geofísicos para entender la dinámica interna del suelo y lo valioso que pueden ser para la ingeniería civil.

Dentro de nuestro país, suceden los mismos inconvenientes que en el resto del continente, existe una clara carencia en métodos de evaluación no destructivos (estudios geofísicos), impidiendo un análisis de mayor detalle y limitando el diagnóstico; aunque siendo este un análisis con criterio por la información recabada y experiencia de profesionales, limita mucho el abanico de opciones para dar solución a estos peligros sísmicos, además de limitar la investigación y así también el conocimiento derivado del mismo, siendo este un gran peligro, ya que, nos impide realizar una prognosis de comportamiento del deslizamiento, volviendo a este un peligro impredecible; actualmente la aplicación de métodos no destructivos, en especial los geofísicos y electromagnéticos, se reservan para las investigaciones científicas, ya que no se encuentran muy presentes en el mercado, como viene realizando investigaciones realizado por (Park y Sayers, 2025).

A nivel regional, los movimientos de terrenos son muy comunes en toda la zona debido a la presencia de grandes pendientes, las fuertes precipitaciones, la alta presencia de formaciones arcillosas, coluvio deluvial, lutitas y la presencia de aguas subterráneas, que caracterizan a la región de Cajamarca, en base a su informe de (Boulangger y Sipión, 2020; Cruzado y Crisólogo, 2011); lo anterior, se convierte en una combinación perfecta para la generación de deslizamientos; esto combinado a la alta vulnerabilidad de las edificaciones de la región, generan un preocupante escenario, el cual, solo se divisa problemas para todo aquel

decida ir en contra de la recomendación de los expertos y decida construir en zonas denominadas de alto riesgo sísmico, además del área circundante al deslizamiento, ya que, lo impredecible de estos fenómenos naturales genera incertidumbre, que en conjunto y la falta de preparación, se proponen como el escenario ideal para un desastre.

En la provincia de Chota, al igual que en región Cajamarca, los deslizamientos y movimientos del terreno son fenómenos cotidianos, las áreas que presentan riesgo de deslizamiento es muy común, existiendo problemas respecto a su estudio, análisis y caracterización ya que generalmente no presentan ninguno y si presentan alguna investigación por parte del Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID). Generalmente estas no presentan investigaciones mediante Métodos geofísicos o similares; siendo esto la razón para el estudio del gran peligro que representan para la población y ciudades de toda la provincia, ya que a falta de datos referentes a los deslizamientos; estos se vuelven peligros e impredecibles y de alto riesgo por la falta de preparación de los pobladores de la provincia.

En la ciudad de Chota existe un deslizamiento de vital importancia dado que impide la expansión de la misma. Se presenta como un riesgo para los pobladores y amenaza principal para un punto turístico relevante para la ciudad de Chota, hablamos del deslizamiento del sector Lagunas, presentando un nulo conocimiento de sus propiedades sísmicas y geomagnéticas, pero, presenta algunas investigaciones en modelamiento geotécnico, estudios geoeléctricos, y como información base es la Evaluación del Riesgo de Desastres Originados por Fenómenos Naturales (EVAR), que caracteriza el plano de falla del deslizamiento empleado análisis de imágenes con Modelos de Elevación Digital (DEM) e inspección visual; por lo que se entiende la necesidad de la caracterización del deslizamiento en base a la geología y los métodos.

La presente investigación no desarrolla una caracterización hidrogeológica ni tiene como finalidad identificar, delimitar o evaluar acuíferos en el sector Lagunas. En consecuencia,

no se determinan parámetros como el nivel piezométrico, espesor saturado, transmisividad, conductividad hidráulica, recarga, almacenamiento, caudal o calidad del agua subterránea. Las lecturas obtenidas mediante el método MSFCEN, expresadas en milivoltios, se utilizan únicamente como indicadores relativos de posibles variaciones de humedad o saturación del subsuelo, interpretadas en conjunto con la geología, la geomorfología y las evidencias observadas en campo. Por tanto, las zonas identificadas no deben considerarse acuíferos comprobados, sino indicios que requieren ser verificados mediante estudios hidrogeológicos específicos, como perforaciones exploratorias, piezometría, tomografía de resistividad eléctrica y ensayos hidráulicos.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Pregunta general

¿Cuál es la caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca en el año 2024?

1.2.2 Preguntas específicas

- ¿Cuál es el estado de activación de los deslizamientos presente en el sector Lagunas en Chota durante el año 2024?
- ¿Cuál es el tipo de los deslizamientos presentes en el sector Lagunas en Chota?
- ¿Cuál es la presencia de zonas con indicios de humedad de 0 a 300 metros de profundidad de los deslizamientos presente en el sector Lagunas en Chota?
- ¿Cuál es la estratigrafía sísmica a 25 metros de profundidad de los deslizamientos en los perfiles con un mínimo de 100 metros lineales, en el sector Lagunas en Chota?

1.2.3 Enunciar el problema

La información geométrica, geológica y presencia de zonas saturadas del suelo es indispensable para la gestión de riesgos geológicos, rama del cual está encargado el

INGEMMET. Además, de ser de gran interés para la población, recordando que sus vidas, están amenazadas por este gigantesco peligro. El movimiento de tierras en el sector Lagunas, presenta peligro muy alto para la población del sector Colpamayo y la parte sur de la ciudad de Chota, siendo los más afectados las personas que viven en el lugar. Frente a este problema, es de vital importancia conocer la estructura interna de este deslizamiento según (León y Zavaleta, 2022).

Ante esta situación problemática surge esta investigación, cuyo propósito es analizar la estructura interna y el estado del deslizamiento situado en el sector Lagunas. La propuesta planteada tiene como objetivo identificar la geometría (geofísica), geología y zonas saturadas, es decir, la estructura interna del deslizamiento, tomando un enfoque analítico de la morfología y composición del suelo. Esto busca mostrar el gran problema que puede ser el deslizamiento del sector Lagunas. Además, de complementar las investigaciones realizadas por el INGENMET en la provincia de Chota, puesto que, la investigación sobre los deslizamientos mediante Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), refracción sísmica (LRS) y electromagnéticos es limitada en la misma. También, “resulta esencial determinar las propiedades sísmicas del suelo, para así poder predecir el comportamiento del deslizamiento” según (Guzmán, 2022). Por otra parte, por la magnitud del estudio se desarrolló alrededor del deslizamiento del sector Lagunas.

La norma de Diseño Sismorresistente (NTP E.030, 2018), Guía estándar para el uso del método de refracción sísmica en investigaciones del subsuelo (ASTM D5777, 2018) y el Manual de operación para el Detector de Agua de Mapeo Automático (PQWT), especifican cómo interpretar y utilizar los equipos necesarios para realizar sondeos sísmico y electromagnético respectivamente. La Norma Técnica Peruana E.030 y la Guía ASTM D5777, especifican las consideraciones a tomar en cuenta para la evaluación de las ondas V_p y V_s .

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación científica

El aporte científico de la investigación se resume en el estudio de las estructuras complejas del subsuelo, analizando para ello los estudios geofísicos y detección de frecuencia, para correlación con estudios anteriores de la zona. Se buscó conocer la relación entre los estudios geofísicos como son: MASW y LRS, dando paso al estudio de las estructuras complejas del subsuelo, buscando: el tipo de deslizamiento del terreno, el estado de activación, tipos de estrato y presencia de agua en los deslizamientos del sector Lagunas, mediante perfiles de 1D y 2D, que va relacionado con las velocidades primarias (V_p), las velocidades secundarias (V_s), detección de frecuencias y topografía del lugar. Que fueron correlacionadas con la geología del lugar, datos directos de campo (escarpes hasta 15 m de profundidad). Se basó directamente con literatura técnica y/o artículos internacionales y la normativa técnica peruana E 0.30 para la aplicación e interpretación de los sondeos de MASW. A su vez, la guía ASTM D5777 para el desarrollo y análisis de los sondeos LRS. Además, el Manual de Operación para PQWT, el cual dio a conocer a la comunidad científica las propiedades geofísicas (velocidades principales y secundarias), detección de frecuencias (presencia de agua) y geologías (tipos de formaciones geológicas, estado de activación) del sector Lagunas, lo que concluyó con perfiles sísmicos, perfiles detección de frecuencias, clasificación de deslizamientos.

El ensayo de MASW, presenta condiciones técnicas y operativas que favorece su utilización como una herramienta recurrente en la clasificación sísmica, según las normativas (E.030, 2018; International Building Code [IBC], 2015); ya que evalúa la condición elástica del suelo para fines de la ingeniería geotécnica.

1.3.2 Justificación técnica

La finalidad principal de la investigación fue la caracterización geométrica del deslizamiento del sector Lagunas, conoció la geología, geomorfología y condiciones elásticas

del suelo, relacionado directamente con la LRS y MASW, como tal, realizando un estudio geofísico y detección de frecuencias espacial basándose en la norma NTP E.030, guía ASTM D5777 y Manual de Operación para PQWT, respectivamente. En síntesis, saber cuáles son las velocidades primarias, secundarias y potencial eléctrico de los materiales del sector Lagunas.

1.3.3 Justificación socioeconómica

La relevancia social en el distrito - ciudad de Chota sector Conga Blanca, es que, cuenta con un deslizamiento de terreno desde varios años atrás, teniendo antecedentes de múltiples instancias de activación a lo largo de las últimas décadas, este sector presenta gran cantidad de deslizamientos y según el INGEMMET es caracterizado como un peligro muy alto, pero sin contar con estudios geofísicos, la carencia de este tipo de investigación trae grandes desafíos como: por la falta de datos o desconocimientos de los movimiento en masa en el sector Lagunas; las vidas y viviendas de los pobladores están expuestos al peligro y vulnerabilidad, ya que se desconoce el estado actual del deslizamiento, además de sus características, puede ocasionar muchas pérdidas económicas para la ciudad de Chota. Por ello se planteó una caracterización del deslizamiento mediante Métodos geofísicos del deslizamiento del sector Lagunas de la ciudad de Chota, que contó con los detalles específicos como: el tipo de deslizamiento del terreno, el estado de activación, características geomagnéticas (suelos saturados), descripción sísmica (los parámetros del terreno, velocidades primarias y secundarias) del lugar de estudio.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Caracterizar geométricamente mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN de los deslizamientos presentes en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca en el año 2024.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el estado de activación de los deslizamientos presente en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca en el año 2024.
- Determinar los tipos de deslizamientos presente en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca en el año 2024.
- Señalar la presencia de suelos saturados mediante perfiles detección de frecuencias (0 a 300 m de profundidad) de los deslizamientos presente en el sector Lagunas en Chota.
- Caracterizar la estratigrafía de los perfiles sísmicos a 25 metros de profundidad de los deslizamientos en los perfiles con un mínimo de 100 metros lineales en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca en el año 2024.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 *Antecedentes internacionales*

Harba et al. (2019) en su investigación estudiaron la “Comparación de MASW e interferometría sísmica con el uso de ruido ambiental para la estimación del campo de velocidad de la onda S en el subsuelo de deslizamiento de tierra”. La investigación se desarrolló en el deslizamiento de tierra, localizado en Magura Nappe, en los Cárpatos Exteriores (Flysch), con el objetivo de comparar la adquisición, procesamiento e interpretación de datos entre los métodos de Interferometría Sísmica Pasiva (SI) y Análisis Activo Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), para ambos métodos presentó el mismo eje de evaluación y número de ensayos, también, se utilizaron ondas superficiales para la estimación del campo de velocidad de la onda S (V_s). En base a su ejecución: para el SI, el registro del ruido sísmico local generado por el alto tráfico en la carretera estatal que cruza el deslizamiento de tierra, en cambio, en el método MASW, la energía sísmica se liberó mediante el impacto de un mazo de 5 kg en una placa de metal. Los resultados obtenidos de ambos métodos proporcionan rangos de velocidad de fase y frecuencia similares. En las secciones de velocidad de la onda S (V_s), se observó el mayor rango de profundidad para el método SI; sin embargo, la resolución lateral fue mejor para MASW. Las superficies de deslizamiento en la capa coluvial no se observaron en las secciones de velocidad de la onda S (V_s), SI o MASW. Solo los resultados obtenidos del SI permitieron distinguir una probable superficie de deslizamiento localizada a mayor profundidad, es decir, en el contacto con el lecho rocoso de flysch menos meteorizado.

Imani et al. (2021) en su investigación evaluaron la “Aplicación de métodos combinados de tomografía de resistividad eléctrica (LTE) y tomografía de refracción sísmica (TRS) para investigar el sitio del deslizamiento de tierra del distrito de Xiaoshan: Hangzhou, China”. El área del movimiento en masa de tierra, se ubicada en el distrito de Xiaoshan en la

ciudad de Hangzhou, país de China. Asimismo, teniendo como finalidad, la delineación de la geometría de los deslizamientos, la detección del contenido de agua y la determinación del movimiento. El área de estudio de la aldea de Yanshan se encuentra a 60 km al suroeste de la ciudad de Hangzhou y se encuentra entre la longitud 120.10123 - 120.116880 y la latitud 29.89025 - 30.26421. Para caracterizar los deslizamientos en esta zona se utilizaron los métodos de tomografía de refracción de onda P (TRS) sísmica 2D y tomografía de resistividad eléctrica 2D (LTE). Los resultados de las técnicas combinadas han definido las capas asociadas a arena y alto contenido de arcilla, así como la geometría de las superficies de falla.

Perrone et al. (2021) en su investigación estudiaron “Un enfoque multidisciplinario para la evaluación del riesgo residual de deslizamientos de tierras: el estudio de caso de deslizamientos de tierra de Pomarico (región de Basilicata, sur de Italia)”. Lo desarrolló en la ciudad de Pomarico (región de Basilicata, sur de Italia), con el objetivo de estudiar un gran deslizamiento de tierra destruyó una parte importante de la ciudad entre los días 25 y 29 de enero de 2019, para ello se han utilizado 3 tomografías de resistividad eléctrica (LTE) detalladas, 2 análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) y una tomografía de refracción sísmica (TRS) para realizar un análisis de las evidencias geomorfológicas de la falla y la posible evolución cinemática del escarpe. Los resultados muestran un desgaste considerable en la corona del deslizamiento, demostrando su antigüedad, esto junto a una estratificación sub paralela consistente en un material arrastre superficial antrópico, que cubre una capa de arenas limosas, superponiendo material arcilloso que representa el lecho rocoso del área investigada. Además, se identificaron cuevas naturales y antropogénicas, desarrolladas principalmente en capas de arenas bien cementadas con las que se compararon los datos estratigráficos de los ensayos. Este estudio muestra cómo la integración de diferentes Métodos geofísicos constituye una herramienta capaz para caracterizar los deslizamientos,

contribuyendo a evaluar el riesgo residual del deslizamiento y evaluando la idoneidad de los métodos utilizados con las condiciones del deslizamiento investigado.

Hussain et al. (2020) en su investigación enfatizaron en la “Caracterización del deslizamiento de Sobradinho en el valle fluvial mediante los métodos MASW y LTE” desarrollado en un valle fluvial geomorfológicamente activo en Sobradinho (Distrito Federal de Brasil). Contiene como objetivo de mapear las características deposicionales del valle fluvial y caracterizar la subsuperficie del sitio, se aplicó el Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) combinado con la Tomografía de resistividad eléctrica (LRE) en un valle fluvial geomorfológicamente activo en Sobradinho (Distrito Federal de Brasil), tomando en cuenta 3 perfiles sísmicos y 2 perfiles LTE, obteniendo así los siguientes resultados: los materiales del subsuelo mostraron un rango específico de valores de resistividad como suelo seco y saprolito (actúa como zona potencial de falla). El modelo de velocidad de onda de corte (V_s) 1D mostró una tendencia creciente de V_s con la profundidad en un lugar alejado de la masa del deslizamiento, mientras que el perfil longitudinal (sobre el deslizamiento) mostró un cambio anómalo en V_s (250 a 400 m/s). Sobre la base de la información existente del deslizamiento de tierras. Este estudio muestra cómo la integración de los datos geofísicos con la investigación geológica y geotécnica ayuda a obtener un modelo más realista o inequívoco del subsuelo.

Sarkar et al. (2021) en su investigación analizaron la “Tomografía sísmica de refracción cercana a la superficie y MASW para la caracterización del sitio en Phuentsholing, Bután, Himalaya”. Desarrollado en la región de Phuentsholing del Himalaya de Bután, con el objetivo de caracterizar del sitio en Phuentsholing, Bután, Himalaya, para ello se llevaron a cabo técnicas de tomografía de refracción sísmica (TRS) y métodos de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) a lo largo de cinco perfiles seleccionados en la región de Phuentsholing del Himalaya de Bután. La longitud del perfil oscila entre 37 y 81,5 m, y la profundidad de la imagen es de hasta 10 m. Las imágenes sísmicas revelan la presencia de arena, arcilla arenosa,

gravas y capas de lutitas debajo de los sitios seleccionados. Dado que el Himalaya de Bután es sísmicamente vulnerable. Los resultados obtenidos en términos de velocidad de onda de corte se utilizaron para categorizar los sitios según las clases de sitio NEHRP, y se realizó un análisis de respuesta del suelo para determinar los factores de amplificación confiables. A partir del estudio, se sugiere que la construcción de ingeniería es factible en todos los sitios, excepto en un sitio, donde se observa una indicación de suelo saturado que es vulnerable a la licuefacción, y es necesario mejorar el suelo antes de la construcción en ese sitio.

Rodríguez y Ruiz (2021) investigaron sobre el “Uso del método potencial eléctrico natural en la exploración de agua subterránea: caso de estudio Hospital de Olanchito”. Desarrollado en el casco urbano del municipio de Olanchito, en los terrenos del Hospital Aníbal Escobar Murillo. Desarrollado con la finalidad de explorar métodos alternativos para la prospección de agua, evitando el uso de equipos de mayor precio y usando el nuevo Equipo Detector de Aguas Subterráneas (PQWT) utilizando el método de potencial eléctrico natural, con el Método de selección de frecuencias de campo eléctrico natural (MSFCEN) se logró ubicar un sitio para perforación de un pozo en el Hospital de Olanchito, Yoro, comprobando que la información que provee el equipo, siempre y cuando se acompañe con análisis geológicos, puede emplearse para la caracterización de acuíferos.

Guzmán (2022) en su investigación aplicó “Refracción sísmica y MASW para la caracterización de dos deslizamientos rotacionales en la Carretera Federal 1D, Ensenada, Baja California, México”. Desarrollada en La carretera federal 1D de Ensenada, Baja California, México, con el objetivo de analizar el subsuelo y los deslizamientos de en masa, identificando los posibles planos de falla o discontinuidades estratigráficas que influyen los kilómetros 90+000 y 91+000 de la carretera, aplicando los Métodos geofísicos de TRS y MASW, para obtener del terreno ondas sísmicas como son las velocidades primarias y secundarias respectivamente. Con los datos obtenidos se modelaron secciones bidimensionales y

tomografías del subsuelo. Llegando a la conclusión de que las zonas de ruptura se originan en planos estratificados de rocas sedimentarias. Además, se determinaron los rasgos morfológicos de los deslizamientos, clasificándolo como rotacional, y se determinó que el trazado de la vía fue construido sobre las masas movilizadas, lo que influyó en la reactivación de los deslizamientos.

Bon et al. (2022) en su investigación estudiaron la “Identificación de características hidrogeológicas mediante métodos telemagnéticos y de teledetección en las formaciones de roca dura de la llanura costera de Camerún (África central): implicaciones para la ubicación de pozos de agua”. Desarrollado en la localidad de Ngwei, llanura costera de Camerún (África subsahariana). Teniendo por finalidad evaluar el potencial hidrogeológico de la roca dura de la localidad de Ngwei. El área de estudio está ubicada en la región del Litoral (parte sur de Camerún), a unos 90 km de la costa atlántica y entre las latitudes 3°30' y 4°10'N y las longitudes 10°09' y 10°54'E. Para determinar el potencial hidrogeológico de la roca dura de la localidad de Ngwei se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8, permitiendo afirmar que el potencial hidrogeológico del lugar es medio, y el método MSFCEN usando el equipo PQWT-S300, mostrando un campo electromagnético de 0 a 0,57 mV. Confirmando la fracturación del basamento y las variaciones espaciales en los perfiles de meteorización cuya estructura y rendimiento del acuífero (4,4 m³/h en promedio) son similares a lo que se observa comúnmente en el acuífero de roca dura.

Manyakaidze et al. (2024) investigaron en la “Limitaciones para el desarrollo y la gestión de aguas subterráneas en los distritos de Chiredzi y Zvishavane, propensos a la sequía (Zimbabwe)”. Desarrollado en los distritos de Chiredzi y Zvishavane, Zimbabwe. Teniendo como finalidad de evaluar las limitaciones en el desarrollo de la gestión de aguas subterráneas, para tal fin se dieron con la tarea de encuestar a los pobladores, resaltando la participación de informantes clave, estos fueron funcionarios gubernamentales a nivel de distrito, autoridades

locales, líderes tradicionales, encargados de bombas de las aldeas y miembros de comités de puntos de agua; además de utilizar el método MSFCEN para la determinar la productividad de las aguas subterráneas, empleando el equipo PQWT-S150. Después de un análisis de ambiental e hidrológico, los resultados muestran que, debido al cambio climático, las comunidades han experimentado una disminución en los niveles de agua subterránea en temporada de estiaje. El estudio recomienda la implementación de un modelo de reposición de aguas subterráneas para mejorar la recarga del acuífero subterráneo, el fortalecimiento de las instituciones locales mejora la gestión de las aguas subterráneas mediante un marco de gestión integrada de los recursos hídricos

2.1.2 Antecedentes nacionales

Huanca y Flores (2019) en su investigación lo enfocaron en el “Estudio geotécnico y geofísico con fines de cimentación para tres asociaciones de vivienda en la ciudad de Tacna”. Lo desarrolló en los asociaciones conocidos como 'Los Damnificados del 23 de Junio B', 'Corazón de María' y 'El Manantial', situados en el Distrito Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna; Con el propósito fundamental de analizar las propiedades del suelo mediante métodos geofísicas en base a LRS y el MASW, correlacionando con ensayos directos (geotecnia) realizados en laboratorio para determinar las propiedades físicos, mecánicos y dinámicos, con la finalidad de desarrollar un proyecto de cimentación adecuado para las viviendas del lugar. Los investigadores concluyeron que mediante Métodos geofísicos es posible calcular las propiedades dinámicas del suelo, y estos métodos se respaldan con los ensayos de laboratorio. Esta combinación permitió determinar que los suelos analizados eran adecuados para llevar a cabo actividades de construcción.

Jurado y Pérez (2019) en su investigación documentaron el “Análisis comparativo de métodos destructivos y no destructivos en la determinación de parámetros geotécnicos para estabilización de un talud en la costa verde-Miraflores”. La zona de investigación está situada

a unos 1.70 km de la Municipalidad de Miraflores, entre el parque Grau y el parque Yitzhak Rabin. Desde una perspectiva política, forma parte del distrito de Miraflores, que a su vez está en la provincia y departamento de Lima. El propósito principal de los autores fue comparar las propiedades de resistencia obtenidas mediante métodos destructivos y no destructivos después de evaluar el talud localizado en la Costa Verde -Miraflores; que comprende un tramo de 700 m de longitud. Se concluye que, los análisis no destructivos, como la refracción sísmica y el MASW, no pueden sustituir a los ensayos geotécnicos, sino que actúan como un complemento o verificación. En cuanto a los costos, los autores señalan que los ensayos destructivos son aproximadamente 4 veces más costosos que los ensayos indirectos, según el análisis de costos realizado. Respecto a los plazos de ejecución, se concluyó que los métodos indirectos requieren alrededor de 4 días para la adquisición y procesamiento de datos, mientras que los ensayos destructivos llevan más tiempo, ya que constan de dos fases: la extracción de muestras y posterior al análisis geotécnico en el laboratorio.

Pinto y Cubas (2021), investigaron sobre “Evaluación geotécnica para mejorar el diseño de la cimentación de terraplenes en la carretera Yurimaguas - Munichis, distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto - 2019”. En el estudio, se seleccionó desde la progresiva 14+650 hasta la 14+760 del proyecto denominado "Mejoramiento y Rehabilitación de la Carretera Yurimaguas - Munichis", ubicado en la provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto, para la evaluación geotécnica con el objetivo de optimizar el diseño de la cimentación de terraplenes en la carretera. Logrando obtener con el ensayo de MASW, ondas sísmicas de (V_s) y un periodo fundamental de 0.33. Asimismo, según el IBC el área es Suelo muy denso o roca blanda (C) y en base a la norma NTP E.030 se clasifica como Suelos Intermedios.

Merma (2021) en su investigación lo enfocó en la “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de suelos aplicando el ensayo de refracción sísmica y el método (MASW) en el pueblo

Joven Belén Distrito Yauri Espinar-Cusco”. La investigación se llevó a cabo en el Pueblo Joven Belén, situado en la parte noreste del Distrito de Yauri Espinar, en la ciudad de Cusco. Se concluyó que, a través de ensayos de LRS, se identificó un perfil sísmico bidimensional compuesto por tres zonas en los primeros 30 metros de profundidad. Asimismo, el ensayo de MASW, se registraron velocidades primarias; dicho promedio es de 360 m/s, dicha área de estudio se clasifica como Suelos Intermedios (S2) según la NTP E.030. Asimismo, con las velocidades sísmicas (P y S) se pueden obtener parámetros elásticos y estimación de la capacidad portante.

2.1.3 Antecedentes locales

Salas (2021) en su investigación basado en la "Comparación de la respuesta estructural de un edificio utilizando espectros de diseño probabilísticos y espectros de la normativa actual para la ciudad de Cajamarca". Se realizó el estudio de una edificación ubicada en la ciudad de Cajamarca, a una distancia aproximada de 200 metros del Complejo deportivo Qhapac Ñan. Para el análisis de la investigación, se utilizó los 21 ensayos MASW ejecutados por Alva (2008) en el área del complejo deportivo. Al clasificarlos según NTP E.030, en referencia a las ondas de corte son suelos intermedios (S2). Esta información fue utilizada para cálculo de los factores de amplificación F_a y F_v , y logra la elaboración de espectros de diseño bajo criterios probabilísticos.

Medina (2022) en su investigación en base a la “Evaluación del perfil sísmico del suelo mediante los métodos de refracción sísmica y MASW”. La investigación se llevó a cabo en las parcelas A, B y C, situadas en la residencial el Mirador, en la ciudad y distrito de Chota, región de Cajamarca. Con el propósito de analizar el perfil sísmico del terreno y estimar los parámetros de sitio específicos incluyendo el Factor de Suelo (S) y los Periodos Predominantes (TP y TL) en dicha área de investigación. Se aplicaron los métodos de LRS (refracción sísmica) y MASW según las normativas ASTM D-5777 y NTP E.030 respectivamente. Se determinaron tres tipos

de velocidades y estratos en una profundidad total de 30 m. Los ensayos de LRS, se concluyen que la primera capa está compuesta por suelo meteorizado hasta una profundidad de aproximadamente 4.70 m, con velocidades en el rango de 300-600 m/s. La segunda capa consiste en arena saturada, abarcando profundidades desde 4.70 m hasta 29.80 m, con velocidades entre 600-2400 m/s. El tercer estrato está conformado por material de roca metamórfica, detectado a partir de la profundidad de 29.80 m, con velocidades superiores a 2400 m/s. Por otra parte, las velocidades promedio (V_{s30}) de las ondas de corte realizados con los ensayos de MASW, variaron 328 hasta 462 m/s; según la NTP E.030 se clasifica como Suelos Intermedios (S2). En base al análisis de los resultados se concluye que los parámetros de sitio son: perfil de suelo tipo S2, con valores de $Z = 0.25$ y $S = 1.20$; asimismo, períodos característicos $TP = 0.60$ s y $TL = 2.00$ s.

León y Zavaleta (2022) documentaron en su informe N.º A7223 sobre la “Evaluación del deslizamiento rotacional en el sector lagunas”. Está situado en el distrito de Chota, dentro de la provincia de Chota, en la Región de Cajamarca. Sus coordenadas centrales en UTM-WGS 84 - Zona 17S son aproximadamente este 761710 y norte 927363. Reconocer, clasificar y describir los peligros geológicos asociados por movimientos en masa en el área de las Lagunas. también busca analizar los factores que condicionan y provocan estos movimientos en masa. La población de investigación abarca una superficie de 16.10 hectáreas y limita con la quebrada Potrera, con una longitud de 420.25 m. La zona de estudio varía en altitud entre 2423.68 a 2633.94 m s. n. m. En el movimiento en masa rotacional, se destaca el escarpe principal, que muestra una caída de 12 m y se extiende a lo largo de 153 m. Se caracteriza por grietas tensionales con aperturas de hasta 50 cm y una extensión de 20 m. Se utilizaron observaciones en el terreno junto con la aplicación de fotogrametría con el fin de generar imágenes de modelos de elevación digital (DEM). Se consideró como un área de peligro muy alto debido a la existencia de un deslizamiento rotacional que se desplaza hacia abajo y avanza en dirección

N310° (este - oeste). En cuanto a la geología, las colinas adoptan una forma irregular semicircular, atribuida a la litología que implica pendientes pronunciadas con inclinaciones que oscilan entre 15° y 25°. El material in situ consiste en fragmentos redondeados, subredondeados y angulosos de calizas fosilíferas y margas pardo amarillentas. Este material sugiere la presencia de un antiguo deslizamiento rotacional que actualmente está experimentando un proceso de reactivación. Este conjunto forma parte de la Formación Chota y Celendín.

Barboza (2024) en su investigación respecto al “Factor de seguridad en las laderas del sector Las Lagunas – Chota - Cajamarca con métodos geotécnicos y Software Slide”. Su finalidad fue establecer y cotejar todos los factores de seguridad del suelo en las pendientes del Sector con los métodos geotécnicos de Bishop Simplificado, Fellenius y Janbú, utilizando el programa Slide. Asimismo, la investigación se realizó en el Sector Las Lagunas, al sureste de la ciudad de Chota; basándose en datos de campo, información bibliográfica y de laboratorio (laboratorio de mecánica de suelos). Se analizó la humedad del suelo, donde varía entre 22% y 27%, así como su granulometría, clasificada como arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH). Respecto a los límites de consistencia, el Límite Líquido se encuentra entre 53% y 54%, y el Límite Plástico entre 19% y 31%. Además, se alcanzó una cohesión (C) en el rango de 0.267 a 0.293 kg/cm² y un ángulo de fricción interna (ϕ) entre 21.80° y 22.78°, siendo estas propiedades fisicomecánicas representativas del suelo de las laderas del sector. Por último, la litología y la presencia de afloramientos de agua (manantiales, zonas pantanosas y bofedales), siendo algunos de los factores que condicionan la inestabilidad.

Zevallos et al. (2025) investigaron en función a la “Caracterización geoelectrica de deslizamientos sedimentarios en la zona Laguna del Amor, Chota-Cajamarca (Perú)”. Analizó el ángulo de pendientes, la presencia de agua subterránea y la composición del suelo; a base del método de la Tomografía de resistividad eléctrica, que correlacionó con la geología,

además, fotogrametría en el Sector Las Lagunas, al sureste de la ciudad de Chota. Se han tomado un total 4 líneas de LTE; el cual describió e identificaron tres niveles con potencias variables. En la Parte superior que lo conforma, estratos de baja resistividad eléctrica; compuesta por rocas calcáreas con lutitas intercaladas y suelo saturado, asimismo las resistividades oscilan de 0,6 y 8,9 $\Omega \cdot m$. En parte central se concluye la presencia de rocas sedimentarias calcáreas con lutitas intercaladas y ligera humedad; asimismo, son notables los valores de resistividad que están en los rangos de 8,8 y 92,6 $\Omega \cdot m$. Finalmente, la parte inferior, está compuesta por materiales calcáreos con lutitas intercaladas con menor contenido de humedad, con resistividad entre 92,7 y 669 $\Omega \cdot m$.

2.2 Bases teórico–científicas

2.2.1 *La geológica regional y su influencia en los movimientos en masa.*

Según Boulangger y Sipión (2020); Cruzado y Crisólogo (2011) las formaciones geológicas del departamento de Cajamarca, en su mayoría está cubierto por rocas sedimentarias correspondientes al Cretácico y al Paleógeno–Neógeno, además de depósitos asociados al Cuaternario. En proporción reducida, se encuentran rocas del Paleozoico (Ordovícico, Carbonífero, Pérmico), Triásico-Jurásico, y rocas del Precámbrico.

La región de Cajamarca, con respecto a sus características geológicas están relacionadas a su cronología, tectónica y origen. Por su complejidad tiene tres unidades litoestratigráficas que son: complejos, grupos y formaciones. El más antiguo, es el Complejo Maraón y corresponde al Precámbrico. El territorio contiene numerosas características litoestratigráficas, entre ellas, rocas metamórficas de composición variada, sobre las cuales yacen discordantemente las rocas mesozoicas. El Grupo Goyllarisquizga del Cretácico Inferior es especialmente notable las areniscas, calizas y lutitas de las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat, las cuales presentan fracturas (Boulangger y Sipión, 2020; Cruzado y Crisólogo, 2011).

Según Boulangger y Sipión (2020); Cruzado y Crisólogo (2011) las formaciones presentes en la región de Cajamarca son las siguientes: Inca, Chúlec, Pariatambo, Yumagual, Pulluicana, Quilquiñán, y Cajamarca, que se encuentran dentro del Cretácico inferior - superior; el cual, están principalmente constituidas por calizas y lutitas. Los depósitos volcánicos Paleógenos y Neógenos consisten principalmente en flujos piroclásticos y de lava, correspondientes al Grupo Calipuy y al Volcánico Huambos. También existen depósitos cuaternarios de origen fluvio-glaciár, glaciár, lagunár, eólico, fluvial, coluvial y aluvial.

Los depósitos de origen aluvial y fluvial, se presentan poco consolidados y están compuestos por gravas, mientras que los fluvio-glaciares, coluviales, lacustres y eólicos están

ligeramente consolidados. En general, la geología de Cajamarca es compleja debido a su ubicación en el margen convergente entre las placas Sudamericana y de Nazca, lo que influye en la activación de movimientos en masa durante la estación de invierno (mediados de octubre a mediados de junio).

Figura 1

Cuadro estratigráfico de la región de Cajamarca

CUADRO ESTRATIGRAFICO DE LA REGION CAJAMARCA															
M.A.	EON	ERA	SISTEMA	EPOCA	UNIDAD ESTRATIGRAFICA				SIMBOLOGIA		ROCA S INTRUSIVAS				
0.0118	F A N E R O Z O I C O	CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Depósitos: eólicos, fluviales, coluviales, aluviales				Q-e	Q-fl	Q-co	Q-al	Nm-pc Nm-an/da Po-di Pe-da Ks-gr-p Ks-t,d-r Ks-gd Ks-to Ks-di Ki-tgd P-gr Pórfido Cuarcifero Andesitas/Dacitas Diorita Dacita Granito Paltashaco Tonalita, Diorita - Rumipite Granodiorita Tonalita Diorita Tonalita Granodiorita Granito de Balsas Pe-gd Pe-an Pe-di/to Ks-pi Granodiorita Andesita Diorita/Tonalita Granitoides Indiferenciados		
1.8060				Pleistoceno	Depósitos: fluvioglaciares, glaciares, lagunares				Q-fg	Q-gl	Q-lg				
5.3320			NEOGENO		Plioceno	Formación Tamborapa				Qp-ta					
				Formación Condebamba				Np-co							
				Formación Cajabamba				Nm-cj							
				Formación Namballe				Nm-n							
				Formación Bellavista				Nm-be							
				Volcánico Huambos				Nm-vh							
23.030			PALEOGENO	Oligoceno	Volcánico Porculla				Nm-vp	Po-m					
33.9+/- 0.1					Eoceno	Grupo Volcánico San Pablo		Formación El Milagro	Po-vsp						
55.8+/- 0.2						Volcánico Chilte		Volcánico Llama	Pe-vch	Pe-vll					
66.5+/- 0.3						Calipuy			Pe-vt	Pe-ca					
					Paleoceno	Volcánico Tembladera		Formación Cajaruro							
99.6+/- 0.9			MESOZOICO	CRETACEO	Superior	Formación Chota				Ks-ch					
						Formación Celendín				Ks-ce					
						Formación Cajamarca				Ks-ca					
						Formación Quilquiñan - Mujarrun				Ks-qm					
						Grupo Puylucana		Formación Yumagual	Ks-yu						
					Inferior	Formación Pariatambo				Ki-pa	Ki-chupa	Ki-inchupa			
						Formación Chulec				Ki-chu					
						Formación Inca				Ki-in					
						Formación Farrat				Ki-f					
						Formación Carhuaz				Ki-ca	Ki-sa/ca	Ki-g			
						Formación Santa				Ki-sa					
						Formación Chimú				Ki-chim					
						Formación Tinajones				Ki-t					
145.5+/- 4					JURASICO	Superior	Formación Chicama				Js-chic				
161.2+/- 4						Inferior	Grupo Pucará	Formación Condorsinga	Formación Oyotun	Ji-c	Ji-o	Tca-pu			
								Formación Aramachay		Ji-a					
199.6+/- 0.6					PALEOZOICO	TRIASICO	Superior	Formación Chamará				Ts-ch			
228+/- 2							PERMICO	Lopingiano	Grupo Mitu					P-m	
299+/- 0.8			Cisuraliano					Ci-a							
359.2+/- 2.5			CARBONIFERO	Mississipiano		Grupo Ambo				O-s					
488.3+/- 1.7				Superior		Grupo Salas				PE-oo					
			PRECAMBRIANO			Complejo Olmos				PE-em	PE-em				
						Complejo Maraón				PE-e,gn					
3600						Esquistos Micáceos									
						Esquistos Gneis									

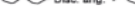
Nota. Boulanger y Sipión (2020); Cruzado y Crisólogo (2011).

2.2.2 Las formaciones geológicas local y su influencia en los movimientos en masa

La provincia de Chota está ubicada en el cuadrángulo 14f, en la parte central de la región de Cajamarca y cuenta con una geología compleja por su ubicación en el margen convergente entre las placas Sudamericana y de Nazca. Las principales unidades geológicas en la zona son depósitos cuaternarios, rocas volcánicas terciarias y rocas metamórficas paleozoicas en base a (Boulangger y Sipión, 2020). Según el tema se clasifica como Mesozoico de sistema Cretáceo superior, perteneciente a los pisos Maastrichtiano, Santoniano-Coniaciano y Cenomaniano. Además, las unidades estratigráficas son 4: Formación Chota, Celendín, Cajamarca y Quilquiñán. Las características geomorfológicas y sus unidades estratigráficas y por su gran presencia de lutitas rocas calizas y otros componentes, ayudan a acumular agua (expandirse). La influencia de las formaciones locales está directamente relacionado a los movimientos de masas en la provincia de Chota.

Figura 3

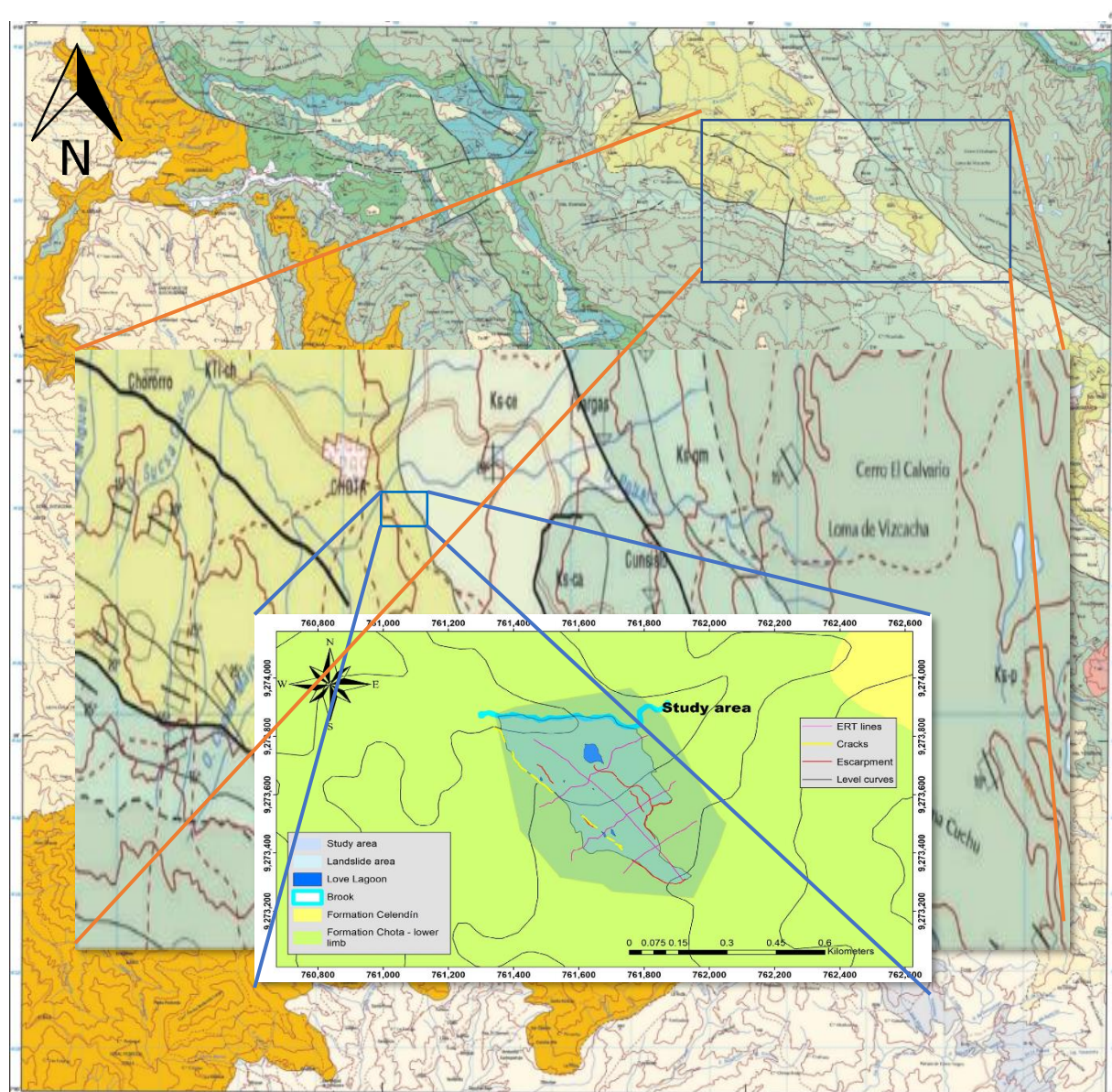
Formaciones geológicas (estratigrafía) del cuadrángulo 14f - ciudad de Chota

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	PISO	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	ROCAS INTRUSIVAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE		Depósitos fluviales edóicos y aluviales 	
				Disc. ang. 	
	TERCIARIO	SUPERIOR		Volc. Huambos 	
		MEDIO		Disc. ang. 	
		INFERIOR		Volc. San Pablo  Disc. ang.  Volc. Llama  Disc. ang. 	Dacita 
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	Maastrichtiano	Fm. Chota 	
			Santoniano	Disc. paral. 	
			Coniaciano	Fm. Celendín 	
			Turoniano	Fm. Cajamarca 	
			Cenomaniano	Gpo. Quilquiñán 	
		INFERIOR		Gpo. Pulluicana 	
				Fm. Pariatambo 	
			Albiano	Fm. Chulec 	
				Fm. Inca 	
			Aptiano	Disc. paral. 	
			Barremiano	Fm. Farrat 	
			Hauteriviano	Fm. Carhuaz 	

Nota. Boulangger y Sipión (2020); Cruzado y Crisólogo (2011).

Figura 4

Mapa de la geología del cuadrángulo 14f de la ciudad de Chota



Nota. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMMET] (2024); Zevallos et al. (2025)

2.2.2.1 Formación Chota (KTi-ch)

La Formación Chota representa el 1.28% de la región, abarcando un área de 42147.44 hectáreas. Con respecto a su unidad estratigráfica, pertenece al Cretáceo Paleógeno, su espesor aproximado de 500 m. En la Formación Chota se reconocen dos secuencias estratigráficas bien diferenciadas. En la parte de la base está constituido por materiales de naturaleza arcillosa,

dominados por lutitas, lodolitas y margas, los cuales muestran tonalidades que varían entre el rojo y el marrón amarillento. Estos sedimentos están intercalados con capas medianas y delgadas de areniscas finas de tonalidad gris verdosa, las cuales son algo disgregables. Las lutitas y lodolitas forman estratos gruesos con clastos cuarzosos, los cuales se hacen más frecuentes hacia el tope de algunas capas. Esta secuencia basal muestra una leve discordancia angular con respecto al miembro superior, en base a su informe de (Boulangger y Sipión, 2020; Cruzado y Crisólogo, 2011).

La estratigrafía superior de la formación está compuesta principalmente por areniscas y conglomerados rojizos, dispuestos en capas macizas, en bancos masivos, con intercalaciones locales de lodolitas y lutitas en niveles delgados. La continuidad de areniscas rojizas, desde el punto de vista morfológico, una alineación de cerros destacados controlada por el rumbo estratigráfico según (Boulangger y Sipión, 2020; Cruzado y Crisólogo, 2011).

Figura 5

Formación Chota



Nota. León y Zavaleta (2022).

2.2.2.2 Formación Celendín (Ks-ce)

La Formación Celendín representa el 0.74% de la región, abarcando un área de 24339.00 hectáreas. Con respecto a su unidad estratigráfica, pertenece al Coniaciano y Santoniano, su espesor alcanza los 300 m. La formación está compuesta por margas y lutitas que presentan una variación de tonalidades desde gris azulado hasta amarillo rojizo, con un aspecto moteado en la parte superior. El grosor de estas capas varía entre 2 y 6 metros en la base, incrementándose hasta alcanzar los 8 metros en el tramo superior. Se reconocen alternancias de calizas margosas algo nodulosas en capas delgadas, algunas con una textura lumaquélica. Además, se encuentran calizas arenosas de textura gris amarillento, especialmente en la base superior. También se pueden apreciar abundantes láminas de yeso secundario distribuidas en el material arcilloso, formando costras sobre los estratos calcáreos o rellenando cavidades basado en (Boulangger y Sipión, 2020; Cruzado y Crisólogo, 2011).

Figura 6

Formación Celendín



Nota. Boulangger y Sipión (2020).

2.2.2.3 Formación Quilquiñán-Mujarrúm (Ks-qm)

Abarca un área de 65227.09 hectáreas representando un 1.98 % del territorio de la región. Además, está dentro de las unidades estratigráficas del Cenomaniano medio y el Turoniano inferior. La formación Quilquiñán y formación Mujarrúm, por la parte superior infrayace con discordancia paralela a la formación Cajamarca. La parte inferior de la secuencia descansa concordantemente sobre la formación Yumagual respectivamente. La base de esta formación está compuesta por una sucesión de calizas nodulares, seguida de capas alternadas de margas y lutitas amarillentas que contienen numerosos restos de *Exogyra*. Más arriba, se observan delgadas capas de calizas nodulares con margas de tonos pardos y amarillentos, también con presencia de fósiles. Por último, se identifican capas de calizas claras con intercalaciones delgadas de lutitas arenosas y pequeñas margas, las cuales también contienen una gran cantidad de fósiles. En total, este estrato tiene un grosor aproximado de 500 metros como lo señalan (Boulangger y Sipión, 2020; Cruzado y Crisólogo, 2011).

Figura 7

Formación Quilquiñán-Mujarrúm



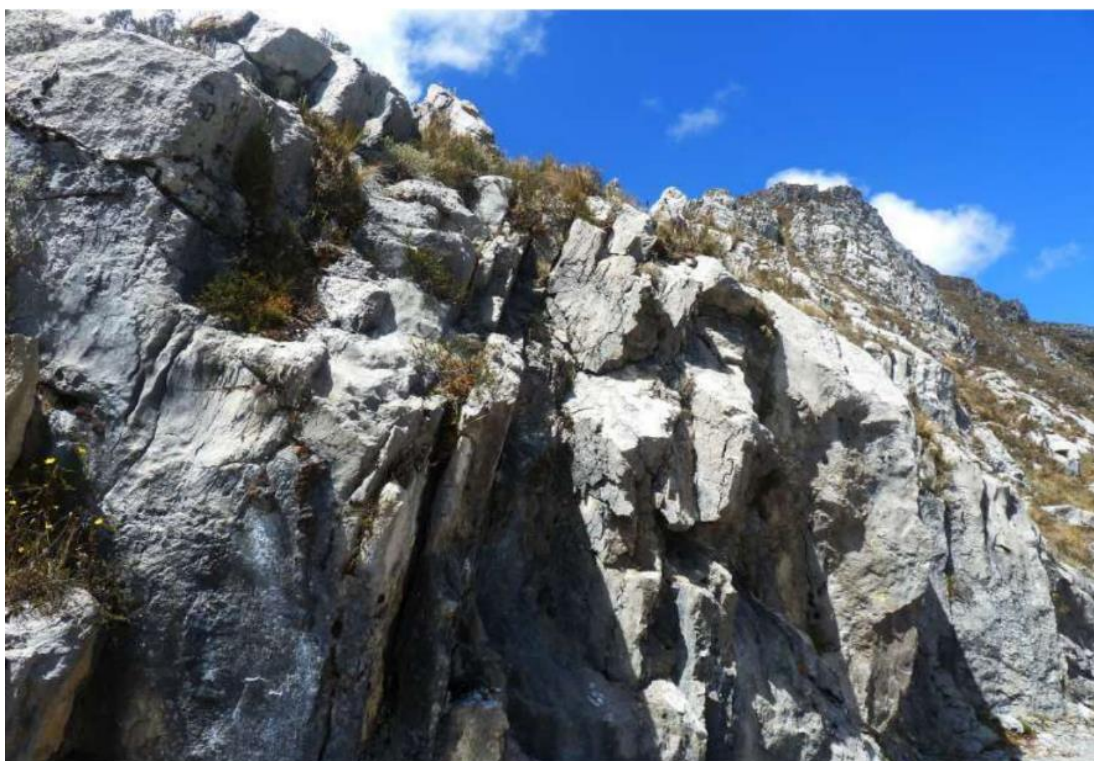
Nota. Boulangger y Sipión (2020).

2.2.2.4 Formación Cajamarca (Ks-ca)

La formación Cajamarca representa un 2.13 % de todo el territorio de la región de Cajamarca con 70198.15 hectáreas. La unidad estratigráfica corresponde al Turoniano superior. La formación Cajamarca tiene afloramientos que se localizan en la región de la Pampa de la Culebra y la hacienda Sangal. Esta formación está compuesta principalmente por calizas de tonalidades gris oscuro o azulado, con intercalaciones de delgados estratos de lutitas y margas. Las calizas se presentan en bancos gruesos y escasamente fósiles. Esta formación se encuentra de manera concordante sobre la formación Quilquiñán y, a su vez, subyace a la Formación Celendín. Su espesor oscila entre los 600 y 700 metros como lo señalan (Boulangger y Sipión, 2020; Cruzado y Crisólogo, 2011).

Figura 8

Formación Cajamarca



Nota. Boulangger y Sipión (2020).

2.2.3 Geomorfología

a) Unidad de montañas: Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs o RC.rs)

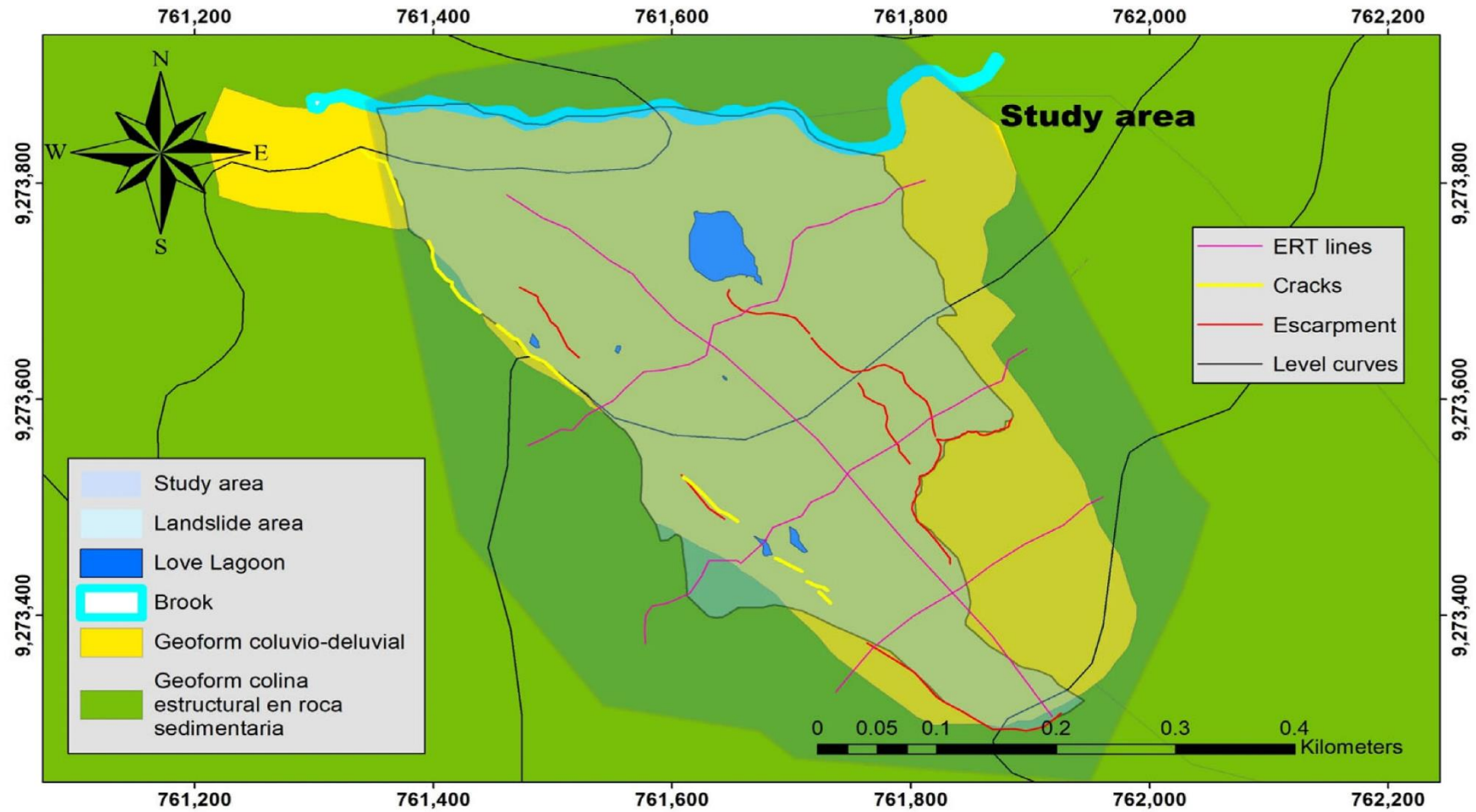
Esta unidad presenta una amplia extensión en el ámbito de la evaluación conformada por laderas montañosas y colinas estructuralmente corrugadas (en su mayoría anticlinales y sinclinales) con pendientes que oscilan entre suaves y abruptas, sometidas a procesos erosivos. También, las formaciones litológicas están conformadas por capas sedimentarias de las épocas Mesozoica y Cenozoica, conformadas por zonas de pliegues estrechos con cabalgamientos e imbricaciones. En el noreste, los pliegues muestran geometrías más suaves manteniendo la misma orientación andina. Se pueden reconocer montañas anticlinales con pronunciadas cuestras estructurales, y colinas alineadas con topografía suavizada, que se han desarrollado sobre calizas plegadas como lo señalan (León y Zavaleta, 2022).

b) Unidad de Piedemontes: vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd).

Son formas aparecidas como resultado del efecto de los procesos de remoción en masa, como son los deslizamientos, derrumbes y avalanchas de rocas. Los depósitos asociados son, por lo general, poco consolidados y homogéneos en su composición, lo que señala que no han sufrido alteraciones posteriores a su acumulación. El desarrollo se produce cerca de las laderas donde tienen origen, correspondiendo a morfologías convexas con formas semicirculares o más bien alargadas, dependiendo de la geometría del sector, como lo señalan (León y Zavaleta, 2022).

Figura 9

Mapa de geomorfología local



Nota. Zevallos et al. (2025).

2.2.4 Clasificación de movimiento de masas respecto a los tipos de materiales y tipos de movimiento de masa

Existen numerosos factores que condicionan el movimiento de terreno, presentando una gran dificultad para poder clasificar los movimientos de masa, traducándose en una gran dificultad en la clasificación de los deslizamientos, existen muchas clasificaciones brindadas por varios expertos y especialistas en el tema. Todos intentando presentar una descripción ordenada; para esta investigación se tomó en cuenta la clasificación dada por (Highland y Bobrowsky, 2008).

Tabla 1

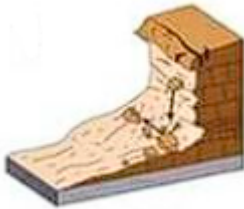
Los tipos de materiales respecto a los movimientos en masa

Tipo de movimiento		Tipos de material		
		Roca	Suelos	
			Gruesos	Finos
Caída		Caída de rocas	Caída de detritos	Caída de tierra
Vuelcos		Vuelco de rocas	Vuelco de detritos	Vuelco de tierra
Deslizamientos	Rotacional	Deslizamiento de rocas	Deslizamientos de detritos	Deslizamiento de tierras
	Traslacional			
Expansión lateral		Expansión de rocas	Expansión de detritos	Expansión de tierras
Flujos		Flujo de rocas (Creep profundo)	Flujo de detritos	Flujo de tierras
			Creep de suelos	
Complejos		Combinación de dos o más tipos principales de movimiento		

Nota. Clasificación para los tipos de movimientos gravitacionales según (Highland y Bobrowsky, 2008; Varnes, 1978).

Tabla 2

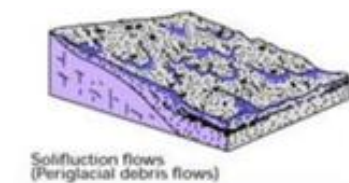
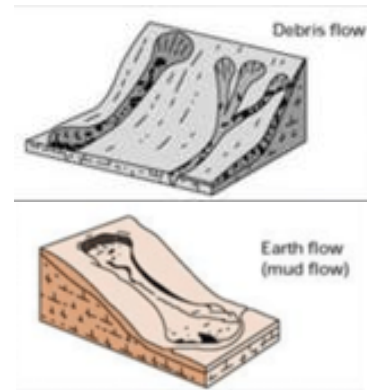
Representación gráfica de los principales procesos de inestabilidad del terreno.

Clasificación	Descripción	Esquema
Caídas	Desprendimientos bruscos y rápidos de bloques, por pendientes pronunciadas, rebotando, rodando o deslizándose. Discontinuidades preexistentes generan la separación.	 Caídas
Vuelcos	Rotación de bloques fracturados alrededor de su centro de gravedad, provocada por las fuerzas ejercidas de los bloques adyacentes.	 Vuelcos
Deslizamientos rotacionales.	La superficie de falla se presenta cóncava hacia arriba, esto genera una rotación alrededor de un eje paralelo al ancho del terreno.	 Deslizamientos (rotacional)
Deslizamientos traslacionales.	La masa movilizada se desplaza sobre una superficie de ruptura plana u ondulada, presentando escasa rotación o basculamiento inverso (inclinación hacia atrás).	 Deslizamientos (traslacional)
Expansión lateral	Movimientos laterales originados por procesos de fracturación y extensión en masas relativamente compactas, inducidos por la licuefacción o fluidización del material subyacente. Se desarrollan cuando bloques compactos se encuentran embebidos	 Corrimientos laterales

en una matriz de grano fino, y suelen presentarse en pendientes suaves o en superficies prácticamente planas.

Flujos

Procesos de desplazamiento rápido caracterizados por un alto contenido de agua, en los cuales el material se encuentra desagregado y adopta un comportamiento similar al de un fluido. Esta condición genera una distribución no uniforme de velocidades, favoreciendo la formación de lóbulos debido al predominio del movimiento intergranular. El material experimenta una deformación continua, sin el desarrollo de superficies de ruptura bien definidas. Estos procesos se clasifican principalmente en flujos de rocas, flujos de detritos o derrubios, avalanchas de detritos, flujos de tierra, flujos de lodo y fenómenos de reptación (creep).



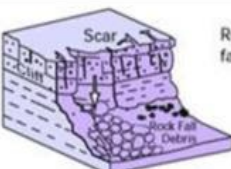
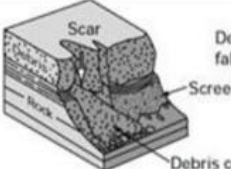
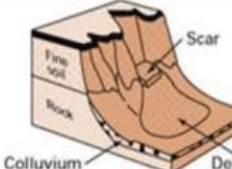
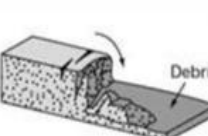
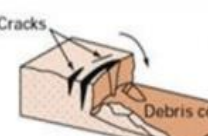
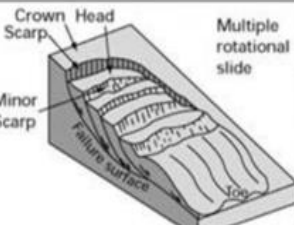
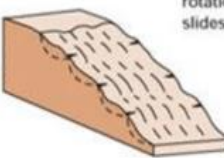
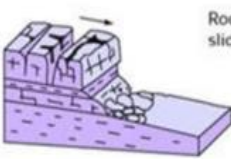
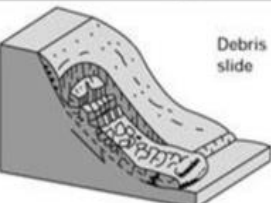
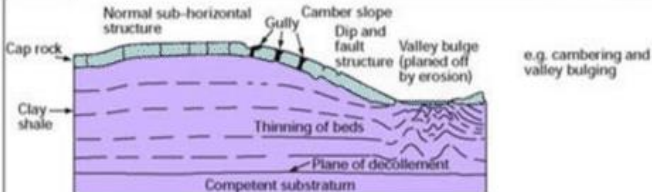
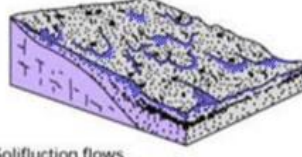
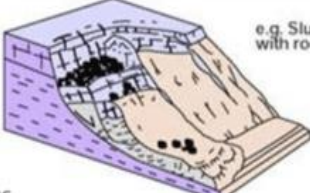
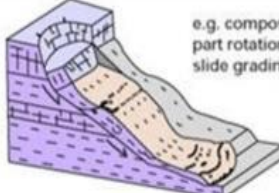
Complejos

Se definen por la interacción de dos o más tipos de movimiento, donde el mecanismo inicial puede evolucionar hacia otro durante el desplazamiento.

Nota. Modificado de Highland y Bobrowsky (2008).

Figura 10

Clasificación de deslizamientos de tierra según el mecanismo de movimiento y material

Material		ROCK			DEBRIS			EARTH		
Movement type										
FALLS										
		Rock fall			Debris fall			Earth fall		
TOPPLES										
		Rock topple			Debris topple			Earth topple		
SLIDES										
		Single rotational slide (slump)			Multiple rotational slide			Successive rotational slides		
										
		Rock slide			Debris slide			Earth slide		
SPREADS										
		e.g. cambering and valley bulging			Earth spread					
FLOWS										
		Solifluction flows (Periglacial debris flows)			Debris flow			Earth flow (mud flow)		
COMPLEX										
		e.g. Slump-earthflow with rockfall debris			e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe					

Nota. Cruden y Varnes (1996); Varnes (1978).

2.2.5 Estados de activación de un deslizamiento respecto a la geometría del terreno

En los deslizamientos las propiedades geométricas permiten analizar la peligrosidad de los movimientos de tierra, por lo tanto, siendo la actividad del deslizamiento una característica a tener en cuenta en la gestión de riesgos del mismo, es de gran importancia conocer los estados de activación de los deslizamientos, y como se pueden determinar en función a su geometría y geomorfología como describe (Travelletti et al., 2013; Turner y Schuster, 1996).

Los estados de actividad describen el grado de movimiento o reposo de una masa inestable de tierra o roca. Según el libro "Landslides: Investigation and Mitigation" de (Turner y Schuster, 1996), existen tres estados principales:

- Activo: el movimiento es continuo. Puede involucrar desplazamientos grandes y rápidos como flujos o avalanchas.
- Reactivado: el movimiento se reanuda después de un período de inactividad o movimiento lento. Puede ocurrir después de lluvias intensas, terremotos u otras actividades que desestabilicen la masa.
- Inactivo: no hay indicios visibles de movimiento o el desplazamiento es extremadamente lento, sin actividad en los últimos 12 meses. La masa parece estable, pero retiene el potencial de reactivarse.

The Canadian Geotechnical Society (1993), adiciona cinco estados de actividad más:

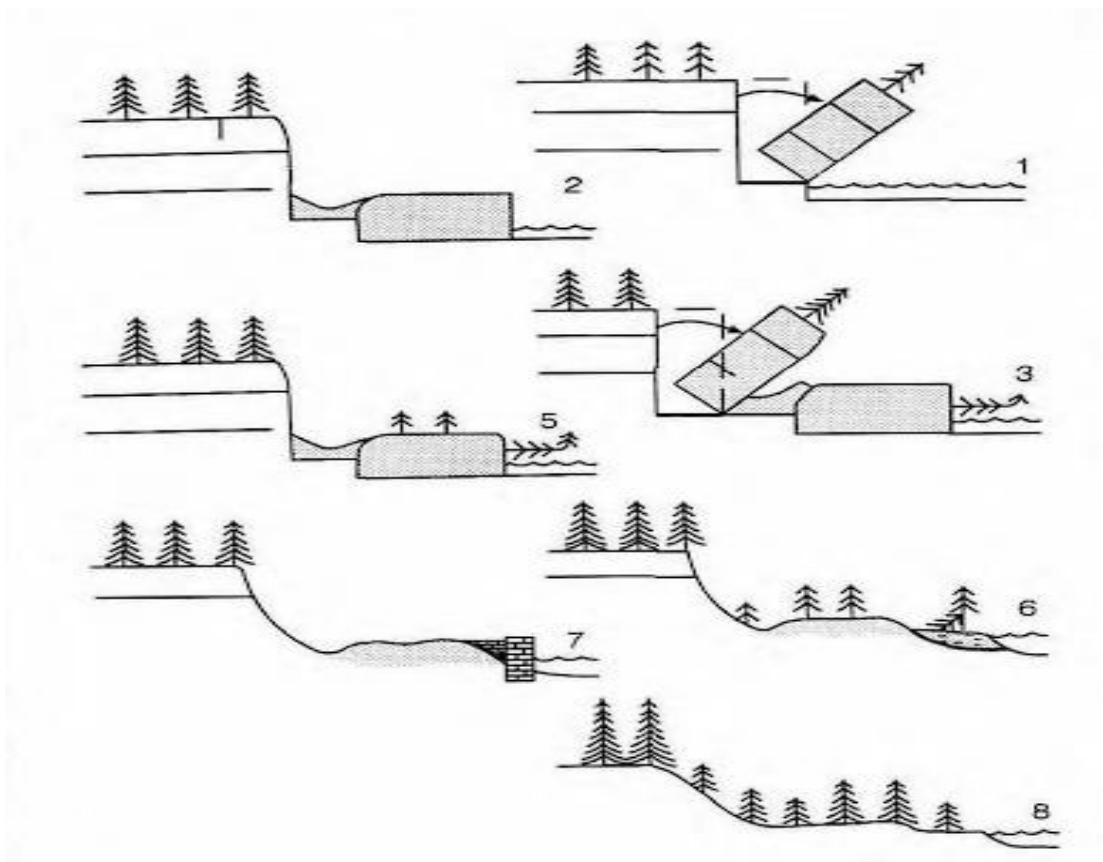
- Suspendido: hubo actividad en los últimos 12 meses, pero ahora mismo no tiene movimiento o el desplazamiento es extremadamente lento. La masa parece estable, pero retiene el potencial de reactivarse.
- Apagado: remoción en masa inactivo, con potencial de reactivación por factores desencadenantes originarios del deslizamiento o por cualquier otro.

- Abandonado: Movimiento inactivo al cual no afectan los factores desencadenantes originarios del deslizamiento.
- Estabilizado: Movimiento inactivo al cual se le aplicaron técnicas de estabilización, protegiéndolo así de factores desencadenantes originarios del deslizamiento.
- Rectilíneo: Movimiento inactivo, que se desarrolló en condiciones completamente distintas a sus condiciones actuales.

Estas características de los deslizamientos permiten estimar su peligrosidad, permitir su clasificación y ser indispensable para su caracterización geométrica.

Figura 11

Estado de un deslizamiento y deslomes en diferentes estados de actividad



Nota. The Canadian Geotechnical Society (1993).

2.2.6 Exploración geofísica y la relación con la presencia de finos (Lutitas)

Los Métodos geofísicos estudian la transmisión de ondas sísmicas en el terreno, que se generan mediante fuentes artificiales, estableciendo una relación con la estructura geológica subyacente. Las velocidades a las que se propagan estas ondas se encuentran directamente influenciadas por las propiedades elásticas y la densidad del material que constituye el medio como menciona (Ekin, 2025; González et al., 2002)

Los cambios de velocidades o inversión de las mismas muestran los contactos de los estratos geológicos (compacidad del terreno), estableciendo las superficies de discontinuidad donde las ondas se reflejan o refractan (ley de Snell). La refracción sísmica (sísmica de refracción), es empleada básicamente en la geología, para determinar deslizamientos profundos, túneles, taludes, que evalúa la energía sísmica refractada que vuelve a superficie según (González et al., 2002).

Según Seo et al. (2025); Sidle y Ochiai (2006) los Métodos geofísicos resultan útiles para la identificación de planos y zonas de falla que condicionan la inestabilidad de los taludes. La refracción sísmica se emplea para delimitar estratos y discontinuidades, mientras que los métodos de detección de frecuencias permiten detectar variaciones en la humedad y saturación en los estratos. Su objetivo es identificar variaciones de los parámetros de adquisición en los sentidos vertical y horizontal, mediante los ensayos geofísicos de campo y procesamiento de datos en gabinete. Esto posibilita la detección de la profundidad y discontinuidad de estratos, según variables como son:

- Extensión del tendido
- Liberación de energía de la fuente sísmica
- Velocidad sísmica de los materiales del suelo.

Estos estudios facilitan la caracterización del subsuelo de forma no invasiva, mediante modelos unidimensionales y bidimensionales, permitiendo determinar la clase de suelo,

estimar los módulos de elasticidad y localizar áreas específicas (zonas kársticas), entre otros. Por otro lado, las exploraciones de prospección geofísica sísmica en el campo se realizan mediante los métodos de línea de refracción sísmica (LRS), el análisis Multicanal de Ondas de Superficie (MASW), como señalan (González et al., 2002; Maleki et al., 2025).

2.2.7 Exploración de detección de frecuencias y la relación con la presencia de agua

Según Rodríguez y Ruiz (2021), los Métodos geofísicos pasivos mediante frecuencias han tenido tradicionalmente un papel clave muy importante en la investigación geológica de minerales, rocas estratificadas, prospección de ingeniería geológica, puesto que facilita una caracterización eficaz de la geología del subsuelo, así como la identificación y cuantificación de acuíferos.

El campo eléctrico natural es el campo geomagnético (campo de emisión de radio o campo eléctrico de CA). El campo distribuido en el suelo lejos de la fuente del campo puede considerarse como una onda plana cuya distribución es aproximadamente perpendicular al suelo. El cambio del campo está sujeto al conjunto de ecuaciones de Maxwell (Rodríguez y Ruiz, 2021).

$$\rho = \frac{1}{5f} \left(\frac{E_x}{H_y} \right)^2 \dots \dots \dots \text{ecuación N}^\circ 1$$

Donde:

ρ : Es la impedancia o la potencial eléctrico

f : Es la frecuencia de operación

H_y : Componente del campo magnético

E_y : Componente del campo eléctrico

La profundidad de exploración está dada por

$$\delta = 503.5 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \dots \dots \dots \text{ecuación N}^\circ 2$$

Empleando dos (2) electrodos con una separación de diez metros (10 m) es factible registrar los valores de potencial en milivoltios para cada frecuencia, llegando a medir hasta 42 frecuencias, alcanzando profundidades de hasta 300 m, como señalan (Rodríguez y Ruiz, 2021; Xu et al., 2023).

- Receptor Host Machine, Instrumentation Hunan Puqi Geologic Exploration Equipment Institute.
- Electrodo de Cobre.
- Barra de electrodo de aleación
- Cable de Electrodo
- Universal Adapter Plug.
- Rechargeable Batteries; Back Strap

Figura 12

Método de Selección de Frecuencias de Campo eléctrico natural - Instrumentation

Hunan Puqi Geologic Exploration Equipment Institute.



Nota. (Hunan Puqi Geologic Exploration Equipment Institute, 2025).

2.2.8 Clasificación del suelo según International Building Code (IBC)

Según el IBC (2015) categoriza los suelos en siete tipos, desde la A hasta la F, según se muestra en el cuadro 4, basándose en el promedio de las velocidades secundarias, en estratos de hasta 30 m de profundidad (V_{s30}).

Tabla 3

Denominación de tipos de suelos según el IBC

Tipo del suelo	Nombre de suelo	Propiedades promedio en los 30 primeros metros		
		Velocidad de onda de corte, $\bar{v}_s$ m/s	Resistencia a la penetración estándar, $\bar{N}$	Resistencia al corte no drenado $\bar{S}_u$ (psf)
A	Roca muy dura	$\bar{v}_s > 1500$ m/s	N/A	N/A
B	Roca	$760 < \bar{v}_s < 1500$	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < \bar{v}_s < 760$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 2000$
D	Suelo rígido	$180 < \bar{v}_s < 360$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$1000 \leq \bar{S}_u \leq 2000$
E	Suelo blando	$\bar{v}_s < 180$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u \leq 1000$
F	-	Cualquier perfil de suelo de 3 m de espesor que tenga las siguientes características: 1. Índice de plasticidad (IP) > 20 2. Contenido de humedad (w) $\geq 40\%$ 3. Resistencia al corte no drenada $S_u < 500$ psf		
G	-	Cualquier perfil de suelo que contenga una o más de las siguientes características: 1. Suelos vulnerables a una posible fractura o colapso bajo efecto sísmico, por ejemplo: suelos licuables, arcillas altamente sensibles y suelos débilmente cementados.		

2. Turbas y/o arcillas altamente orgánicas ($H > 3$ m de turba y/o arcillas altamente orgánicas, donde H = espesor del suelo).
 3. Arcillas de muy alta plasticidad ($H > 7.6$ m con índice de plasticidad $IP > 75$)
 4. Arcillas gruesas suaves a medias ($H > 36$ m).
-

Nota. International Building Code [IBC] (2015).

2.2.9 Clasificación del suelo de acuerdo con la Norma Técnica Peruana de Diseño Sismorresistente (E.030)

Según la NTP E.030 "Diseño Sismorresistente", los perfiles de suelo se clasifican considerando las siguientes condiciones:

- La velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (V_s), se aplicará como estipula en la metodología de la investigación.
- El promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada para suelos cohesivos. Estas propiedades deben determinarse hasta los 30 metros de profundidad.

Esta velocidad se calcula de acuerdo a la ecuación N.º 3

$$\bar{v}_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \dots \dots \dots \text{ecuación N}^\circ 3$$

Donde:

d_i = Profundidad de cada capa entre 0 a 30 metros

V_{si} = Velocidad de onda de cada capa en m/s

Tabla 4*Clasificación de los perfiles del suelo según la NTP E.030*

Clasificación de los perfiles del suelo				
Perfil	$\bar{v}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{S}_u$	Descripción
S₀	>1500 m/s	-	-	Rocas duras o sanas
S₁	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100 kPa	Rocas con diferentes grados de fracturación y arcilla muy compactadas
S₂	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa	Suelos intermedios
S₃	<180 m/s	<15	25 kPa a 50 kPa	Suelos cohesivos blandos: Arena media a fina, o grava arenosa.
S₄	Clasificación basada en el EMS			Suelos excepcionalmente flexibles.

Nota. E.030 Diseño Sismorresistente (2018).

2.2.10 Clasificación del tipo del suelo según la norma ASTM D5777

Según la norma ASTM D5777, los rangos de velocidades de compresión (ondas sísmicas) en los suelos y rocas dependen del tipo de material. En general, las velocidades sísmicas son mayores en rocas más densas que en rocas más ligeras; en rocas ígneas comparadas con rocas sedimentarias; y en rocas sólidas con aquellas que presentan grietas o fracturas. Además, existen intervalos de velocidades que se superponen eso depende directamente del análisis del intérprete y el conocimiento de la geología local.

Tabla 5*Clasificación según la normativa ASTM D5777*

Descripción	Vp (m/s)
Suelo meteorizado	204 - 610
Grava o arena seca	460 - 915
Arena saturada	1220 - 1830
Arcilla Saturada	915-2750
Agua	1430-1665
Agua de mar	1460-1525
Arenisca	1830 a 3960
Esquisto	2750 a 4270
Tiza	1830 a 3960
Caliza	2134 - 6100
Granito	4575-5800
Roca metamórfica	3050 - 7000

Nota. ASTM D5777 (2018).

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Movimiento en masa

El concepto de remoción de masas, movimiento de masas, movimiento de inclinación, desplazamiento de masas o movimiento del terreno son fenómenos naturales peligrosos que generalmente ocurren en partes montañosas del mundo, que en muchos casos conducen a pérdidas financieras y humanas y se conocen como desastres naturales, como señalan (Soleimani et al., 2024).

Según Hart (2024) los deslizamientos de dendritos o tierra-suelo son movimientos de masas de inicio repentino debido a la gravedad, a menudo desencadenados por precipitaciones o actividad sísmica o volcánica. Presentándose así como un proceso donde los materiales experimentan un desplazamiento respecto a su ubicación inicial lento o veloz, de un volumen de terreno específico, ya sea por causas internas, vinculados a las propiedades del material y al desarrollo del proceso de falla, (características litológicas y estructurales del macizo, su respuesta hidrogeológica, el régimen de esfuerzos-deformaciones, así como sus propiedades físicas); o externas, que controlan el volumen de remoción, en gran medida es la aplicación de acción de esfuerzos estáticos o dinámicos, cambios en el régimen hidrogeológico, agentes climáticos, modificaciones en la configuración geométrica del talud.

Figura 13

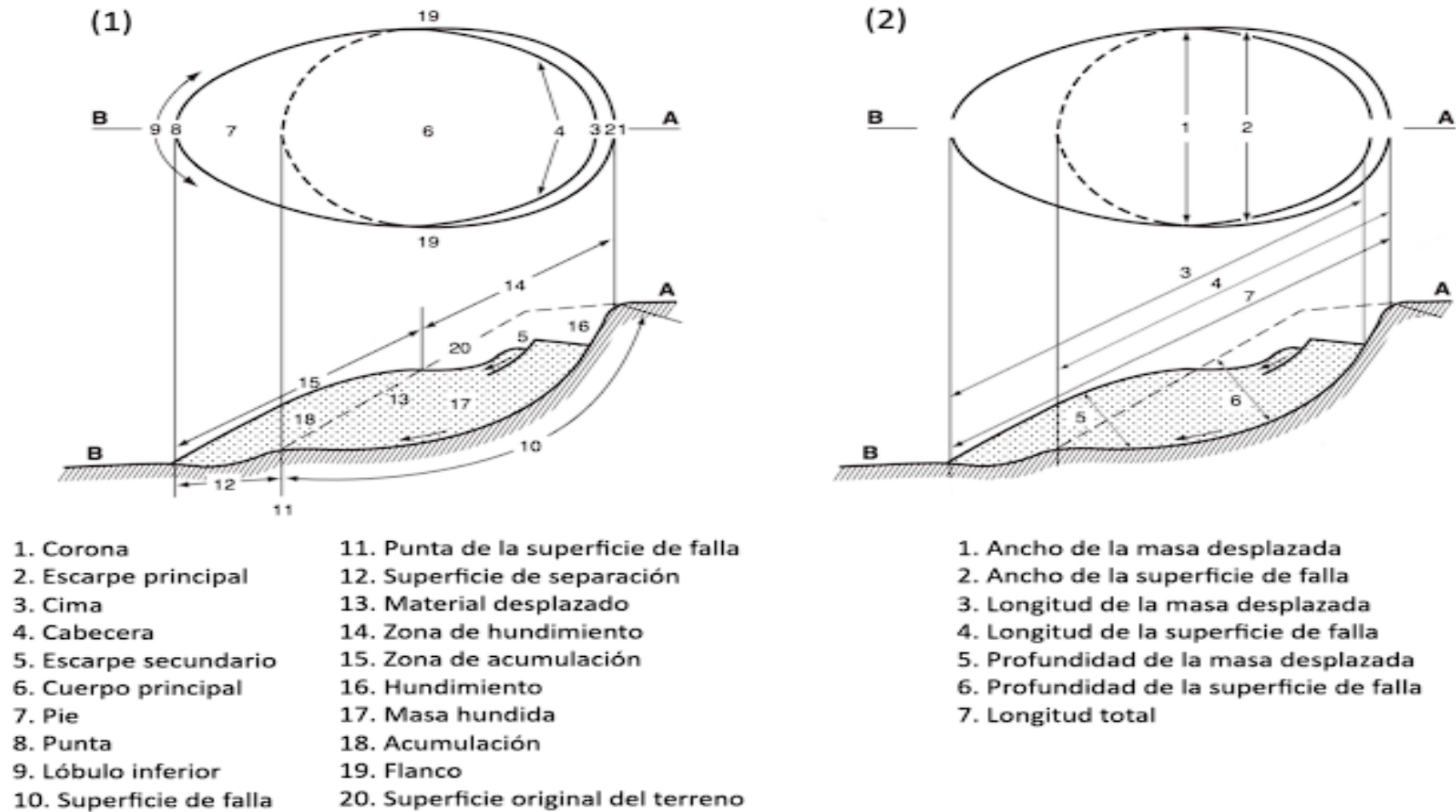
Deslizamiento sector Lagunas



Nota. León y Zavaleta (2022).

Figura 14

Parte (1) presenta las características morfológicas de un deslizamiento rotacional y la parte (2) sus dimensiones



Nota. Modificado de Cruden y Varnes (1996); The Canadian Geotechnical Society (1993).

2.3.2 *Parámetros de sitio*

Según la NTP E.030 (2018) la importancia de los parámetros de sitio, en la ingeniería sísmica y la interpretación de datos dinámicos es indispensable, porque ayuda a caracterizar los efectos de amplificación de las ondas sísmicas en un sitio (condiciones locales) específico en este caso en el sector Las Lagunas del distrito de Chota.

Factor de amplificación del suelo (S): Representa la amplificación del movimiento sísmico esperada en el sitio respecto a una condición de roca dura. Depende de las propiedades mecánicas del suelo según (NTP E.030, 2018).

Período predominante del sitio (TP): Período en el cual se presenta la máxima amplificación del movimiento sísmico debido a la resonancia del suelo según (NTP E.030, 2018).

Límite superior del Período de vibración del suelo (TL): Período a partir del cual no ocurre amplificación significativa del movimiento sísmico en el sitio según (NTP E.030, 2018).

Estos parámetros permiten amplificar o modificar un espectro de respuesta de aceleraciones de diseño definido en roca, para representar los efectos particulares de las condiciones locales del suelo en un sitio determinado según (NTP E.030, 2018).

2.3.3 *Parámetros elásticos del suelo*

En la investigación mediante los ensayos no destructivos (LRS y MASW), se pueden calcular las características elásticas del suelo, usando razón entre las velocidades “Vp” y “Vs” en las ecuaciones del módulo de Elasticidad, Poisson y Corte, según (Merma, 2021). Además, mediante Métodos geofísicos se pueden estimar las características dinámicas del suelo según su investigación de Huanca y Flores (2019).

Según Kramer (1996) la propagación de las ondas sísmicas Vp y Vs se explica a partir de los principios de la elasticidad, los cuales pueden expresarse mediante las ecuaciones de movimiento aplicables a un medio elástico e isotrópico.

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \dots \dots \dots \text{ecuación N}^\circ 4$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \dots \dots \dots \text{ecuación N}^\circ 5$$

$V_p = \text{Velocidad de ondas primarias}$ $V_s = \text{Velocidad de ondas secundarias}$

$\lambda = \text{Constante}$

$\mu = \text{Rigidez}$

$\rho = \text{Densidad}$

2.3.3.1 Módulo de Elasticidad (E):

Este módulo describe la rigidez del suelo y su capacidad para deformarse elásticamente bajo carga. La vinculación entre la velocidad de las ondas P (V_p) y el módulo de elasticidad se define mediante la siguiente ecuación (Kramer, 1996):

$$E_d = 2 * (1 - \nu) * G \dots \dots \dots \text{ecuación N}^\circ 6$$

2.3.3.2 Relación de Poisson

Kramer (1996); Naranjo y Dranichnikov (2013) este parámetro describe la relación entre la deformación lateral y la deformación axial del suelo. La relación entre las velocidades de las ondas P (V_p) y S (V_s) y el módulo de Poisson (ν) se expresa de la siguiente manera:

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2 * \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2} \dots \dots \dots \text{ecuación N}^\circ 7$$

2.3.3.3 Módulo de Corte (G)

Kramer (1996); Naranjo y Dranichnikov (2013) este módulo describe la resistencia del suelo a la deformación de corte. La relación entre la velocidad de las ondas S (V_s) y el módulo de corte se expresa en la siguiente ecuación:

$$G = \frac{E}{2 * (1 + \nu)} \dots \dots \dots \text{ecuación N}^\circ 8^\circ$$

La velocidad de la onda de corte (V_s), se relaciona con el módulo de corte (G) y la densidad (ρ) del material mediante la siguiente expresión:

$$G = \rho * V_s^2 \dots \dots \dots \text{ecuación N° 9}$$

2.3.3.4 Módulo volumétrico

Según Ali (2016) se define como la cantidad de presión adicional requerida para provocar una posible disminución fraccional del volumen. Además, esta propiedad describe la capacidad de un material para oponerse a una deformación bajo compresión constante.

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} \dots \dots \dots \text{ecuación N° 10}$$

Estas ecuaciones son valiosas en estudios geotécnicos y sísmicos para evaluar la respuesta del suelo a las ondas sísmicas y proporcionar información sobre su comportamiento elástico. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estas relaciones asumen ciertas condiciones y simplificaciones, y la interpretación precisa puede depender de la complejidad del subsuelo y de la calidad de los datos sísmicos recopilados.

2.3.4 Formación geológica

Una formación geológica es un conjunto de estratos agrupados en una unidad litoestratigráfica, formada y clasificada con una forma común en múltiples muestras, de un mismo origen e intervalo de tiempo, dispersas en un territorio. Las propiedades de un suelo son influidas por estas formaciones estratigráficas como describe (Terzaghi et al., 1996).

Las propiedades del terreno son determinadas generalmente por la composición geométrica (tipo de grano) del terreno, pero estas a su vez, presentan propiedades diferentes determinadas por su origen, estas son generadas por condiciones específicas. Asimismo, las formaciones están compuestas por capas sedimentarias, ígneas o metamórficas que revelan condiciones pasadas de deformación. Además, en los entornos de las formaciones se

determinan textura, mineralogía, cementación, porosidad y discontinuidades como describe (Lisle et al., 2011).

Por lo que, se define a las formaciones geológicas como aquellas litoestratigrafías definidas que nos permiten entender las propiedades del lugar, las condiciones de su formación, su origen y los posibles riesgos o posibilidades ingenieriles del lugar.

2.3.5 Activación y velocidad del movimiento de los deslizamientos

Turner y Schuster (1996) la activación de un deslizamiento ocurre cuando las fuerzas desestabilizadoras superan la resistencia al corte del suelo o roca en una ladera. Factores como sismos, lluvia, erosión y actividad humana pueden incrementar las fuerzas desestabilizadoras hasta un punto crítico.

La rapidez de movimiento depende del tipo de deslizamiento y material como menciona (Abramson et al., 2001; Cruden y Varnes, 1996) ya que, los deslizamientos rotacionales profundos tienden a moverse lentamente, mientras que deslizamientos traslacionales superficiales y flujos pueden acelerarse a velocidades altas en segundos, brindándole complejidad para su estabilización.

2.3.6 Métodos geofísicos refracción sísmica, MASW y MASW-2D estático

2.3.6.1 Refracción sísmica

Básicamente, el principio de refracción sísmica implica la aplicación de perfiles longitudinales equipados con sensores (geófonos), por lo general la distancia es conocida y regular. Para la liberación de la energía, en muchas ocasiones es mediante un martillo de 20 o 25 libras, llegando a los sensores generando una perturbación que es registrada por el sismógrafo (González et al., 2002).

La longitud de los perfiles se encuentra en el rango de 25 a 100 metros, con una separación de los géofonos que no suele exceder los 5 m. Garantizando un buen detalle en la investigación. Sin embargo, la separación de géofonos puede variar hasta cientos de metros.

Cada perfil incluye un mínimo de tres puntos de golpeo (inicio, centro y final), dispuestos a lo largo del trazado; en perfiles mayores a 60 m, se emplean comúnmente cinco puntos según la investigación adaptada de (González et al., 2002).

- **Trayectoria de las ondas**

La Ley de Snell nos proporciona una manera de calcular la dirección que seguirá una onda al transmitirse de una capa a otra según (Ammon, 2019). La siguiente ecuación N.º 11 describe la relación entre los ángulos de incidencia y refracción cuando las ondas se transmiten a través de un límite entre dos medios diferentes, según (Guzmán, 2022).

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{V_1}{V_2} \dots \dots \dots \text{ecuación N}^\circ 11^\circ$$

Donde:

i_1 : Representa el ángulo del rayo incidente

v_1 : La velocidad del rayo incidente

i_2 : El ángulo del rayo refractado

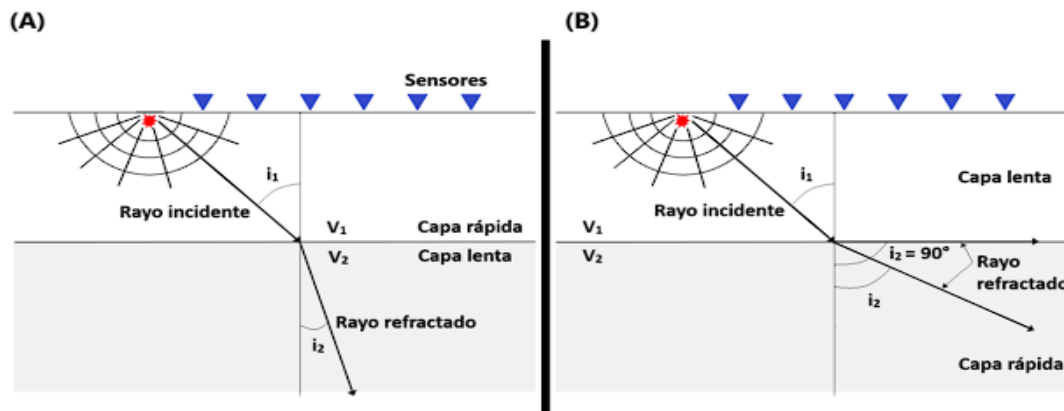
v_2 : la velocidad del rayo refractado

Esta ley describe cómo los rayos sísmicos se curvan al viajar de un material a otro. Se inclinan hacia la vertical al pasar de un material rápido a uno lento, y hacia la horizontal al hacerlo de un material lento a uno rápido. Además, cuando los rayos se refractan a 90 grados, viajan a lo largo del límite de la capa más rápida, según (Guzmán, 2022).

Para realizar el método de refracción, es necesario que la velocidad aumente con la profundidad $V_2 > V_1$ y que los espesores de las capas sean menores en comparación con la longitud del tendido, la investigación tendrá como mínimo una longitud 100 metros, según (Guzmán, 2022).

Figura 15

Esquema de la trayectoria de rayos por refracción



Nota. Guzmán (2022).

2.3.6.2 Método de Análisis de Superficie de Onda MASW y MASW-2D estático

El Método de Análisis de la Superficie de Onda (MASW) es una variante del método de análisis espectral de ondas superficiales (SASW), que tiene aplicaciones en la investigación geotécnica (Medina y Ccallo, 2016).

La velocidad de corte (V_s) se considera como una de las propiedades elásticas que mantiene una estrecha relación con el módulo de Young y el módulo de corte, por lo tanto, la velocidad de corte resulta un parámetro correspondiente a la resistencia o rigidez del terreno, fundamentado en la investigación que realizaron (Park et al., 2007). Las variaciones en la rigidez de las capas de tierra subyacentes las ondas que se desplacen a distintas frecuencias y velocidades dando así el fenómeno de la dispersión. Así, mediante la dispersión de las ondas superficiales y la inversión del modo fundamental de la onda Rayleigh, es posible determinar la velocidad de corte, según (Xia et al., 1999).

Cuando la velocidad sísmica aumenta con la profundidad, se observa un fenómeno interesante: las frecuencias bajas (correspondientes a longitudes de onda más largas) se propagan más rápidamente, mientras que las frecuencias altas (con longitudes de onda más

cortas) se propagan más lentamente. Esta característica hace que la velocidad de la onda superficial dependa de la frecuencia, lo que se conoce como dispersión. En otras palabras, el contenido de frecuencia de la onda se dispersa a medida que viaja a través del medio según (Reynolds, 2011). Todo el procedimiento para MASW suele consistir en tres pasos:

- Adquisición de registros de campo multicanal (recogidas de disparos);
- Extracción de curvas de dispersión (una de cada registro);
- Invertiendo estas curvas de dispersión para obtener perfiles velocidad de corte

(Vs) 1D (profundidad) (un perfil de una curva).

Al generar los mencionados perfiles 1D de Vs a lo largo de la línea de estudio y hacer una interpolación espacial de los resultados en función de su posición geográfica, se consigue una imagen del subsuelo en dos dimensiones. En este sentido no debe interpretarse simplemente como una aproximación a una línea de perfiles 1D, sino que debe entenderse como un método que de forma explícita introduce la variabilidad lateral del terreno y su continuidad espacial en base a los investigadores (Park et al., 2007, pág. 2). De esta manera, el MASW-2D permite la representación más fidedigna de las condiciones reales en el subsuelo y especialmente en zonas con cambios litológicos abruptos, rellenos heterogéneos o en condiciones geotécnicas complicadas.

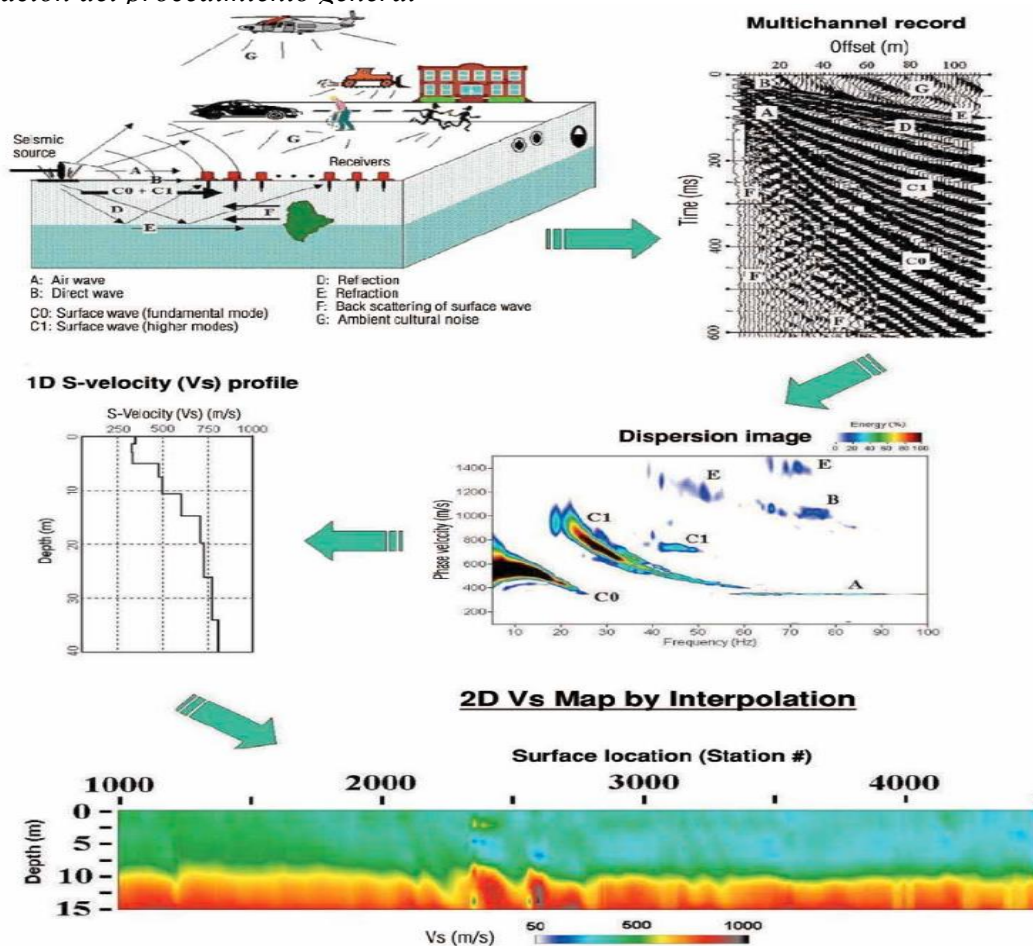
También se cuenta, el MASW-2D estático supone un avance significativo respecto a esta metodología. Por un lado, no consiste, a diferencia de la tradicional el enfoque 1D, en apilar perfiles 1D de manera consecutiva, sino que tiene en cuenta de forma explícita la continuidad espacial y las variaciones laterales en el subsuelo. Este enfoque resulta fundamental para la detección de cambios litológicos laterales y de estructuras geotécnicas complejas, como lentes, fallas, rellenos heterogéneos, zonas blandas o transiciones rígidas bruscas. Por otra parte, el método estático 2D se caracteriza por fijar la posición del arreglo

geofónico y disparar múltiples veces a lo largo del perfil, mejorando de este modo la relación señal-ruido y la resolución lateral de las imágenes de Vs (Park et al., 2007).

Según Medina y Huaquisto (2016) destacan que este método 2D estático es particularmente útil en proyectos donde se requiere un mayor detalle lateral del perfil del terreno, como en estudios de licuación, zonificación sísmica, diseño de cimentaciones superficiales o análisis de estabilidad de taludes. Así, el MASW-2D estático se posiciona como una herramienta geofísica versátil y no invasiva, capaz de brindar modelos más representativos del comportamiento dinámico del suelo.

Figura 16

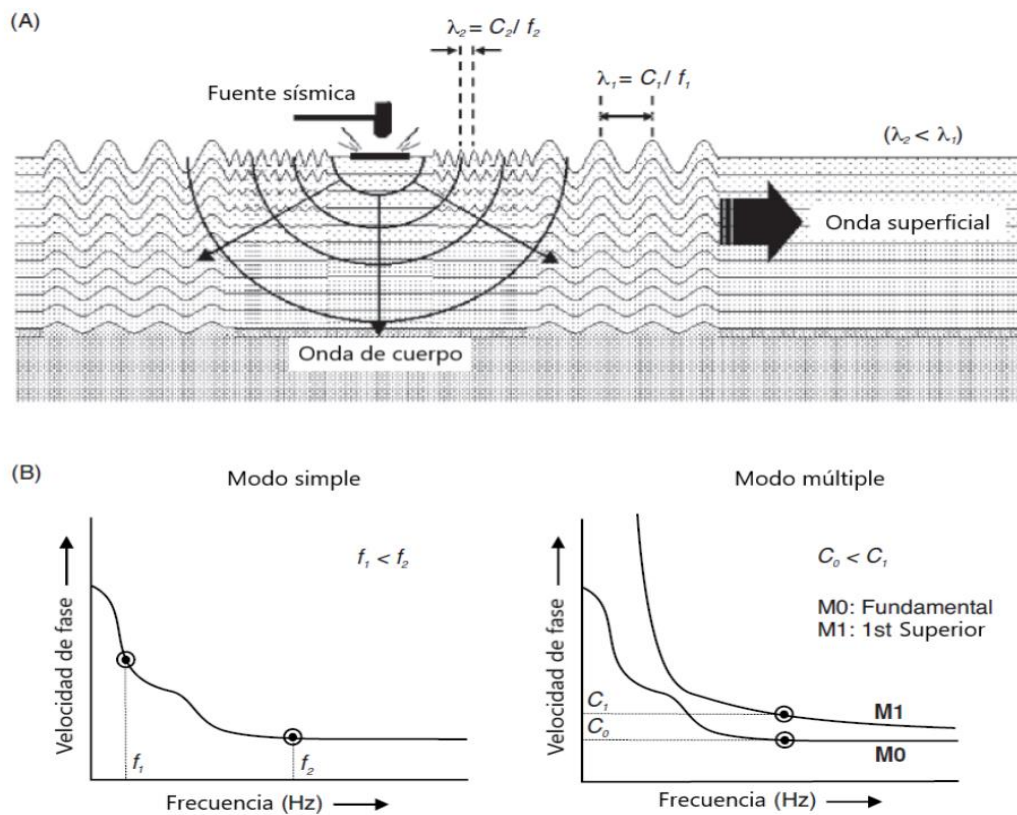
Ilustración del procedimiento general



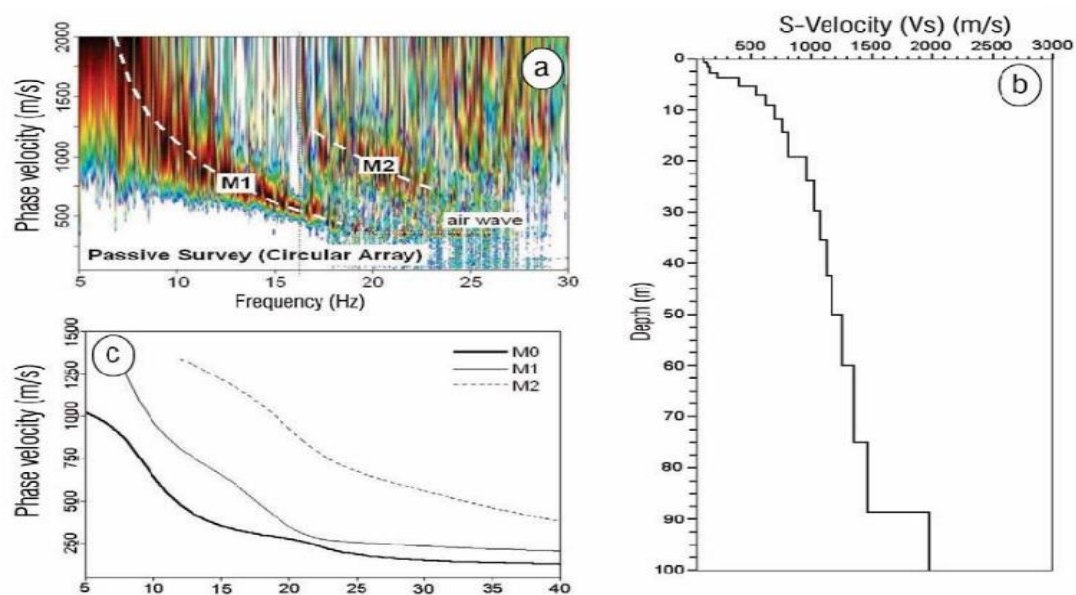
Nota. Park et al. (2007).

La curva de dispersión exhibe cómo cambia la rapidez de fase según la frecuencia al avanzar la onda. Al analizarla, el modo fundamental se vincula con las más bajas rapideces de fase. Si para una misma frecuencia vemos varios valores de rapidez, esos corresponden a modos superiores, también llamados armónicos, que avanzan a mayores rapideces. En este análisis es común que varios modos coexistan según (Reynolds, 2011). La rapidez de fase se calcula según el retraso temporal en que llegan las ondas superficiales entre varios receptores y la distancia que hay entre cada uno.

La representación gráfica de la relación entre frecuencia y la velocidad de fase de una onda, es llamado como la curva de dispersión. Cuando se observa que la velocidad de fase es más lenta en la lectura de velocidad de dispersión y velocidad, es nombrado como modo fundamental. Cuando una sola frecuencia exhibe varios valores de velocidad de fase, estos se relacionan con modos más altos, llamados también armónicos, que muestran un patrón dispersivo más veloz. En esta clase de análisis es común que varios modos aparezcan a la vez en base a la investigación de (Reynolds, 2011). La velocidad de fase se calcula usando el retraso temporal en el arribo de las ondas superficiales entre receptores y la distancia presente entre estos.

Figura 18*Velocidad de propagación*

Nota. Reynolds (2011).

Figura 17*Imágenes de dispersión*

Nota. Park et al. (2007).

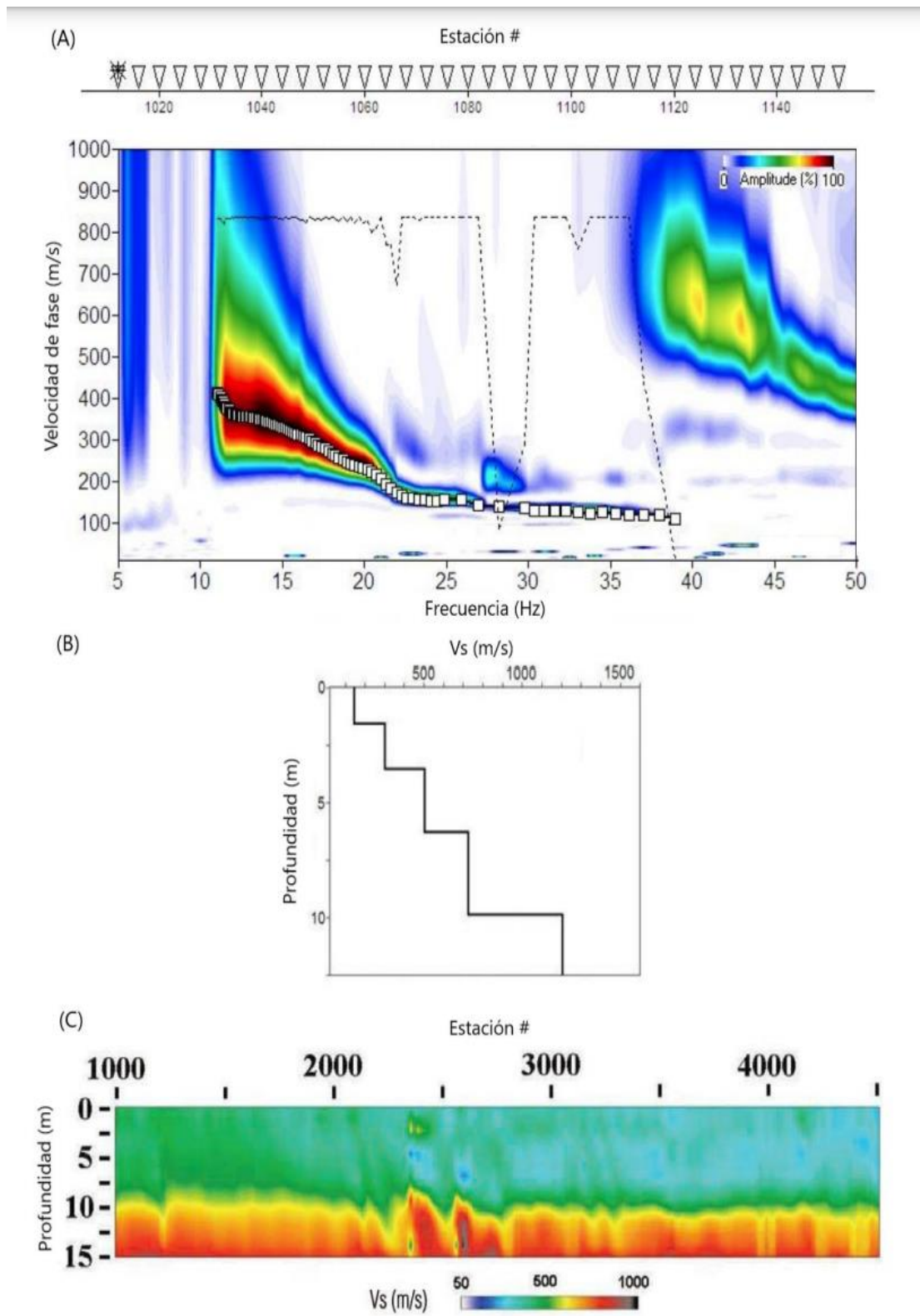
La identificación clara de un modo individual es crucial para una interpretación precisa. Si se confunde un modo superior con el modo fundamental, la velocidad de corte resultante puede ser inusualmente alta. En ciertas situaciones, los modos más altos pueden verse con más nitidez, mientras que el modo básico quizás no se identifique bien. Esta condición es muy importante para garantizar la calidad y la fiabilidad de la interpretación de los datos logrados por el Método de Análisis de Ondas Superficiales, según (Reynolds, 2011). Además, los aspectos vistos en los registros sísmicos se muestran directamente en las propiedades de la curva de dispersión asociada.

El Método de MASW consiste en la recopilación de datos sísmicos en el campo, que luego se convierten en una representación gráfica de la velocidad de fase en relación con la frecuencia. Este método analiza la curva de dispersión del modo fundamental para determinar la velocidad de corte en función de la profundidad y construir así un perfil 1D del subsuelo. Al combinar los perfiles 1D de velocidad de corte derivados de los registros sísmicos de cada punto de adquisición, se obtiene un modelo 2D de la velocidad de corte en el subsuelo como mencionan (Park et al., 2007).

Marciniak et al. (2021) mencionan que los Métodos geofísicos MASW, refracción sísmica y otros ensayos, son herramientas valiosas en el estudio de deslizamientos de tierra, permitiendo caracterizar su geometría y estructura interna. Estas técnicas facilitan la determinación de parámetros críticos como la extensión, la potencia (espesor) y la profundidad de los planos de falla, contribuyendo así a una comprensión integral de la configuración del deslizamiento.

Figura 19

Distribución del modo fundamental y superior en la curva de dispersión.



Nota. Park et al. (2007).

2.3.7 Ondas sísmicas

Strahler y Strahler (2006) mencionan que los sismos originan diversos tipos de ondas sísmicas que se transmiten a través del interior de la Tierra. Las ondas primarias o P son ondas de compresión que se mueven más rápido. Las ondas secundarias (S) son ondas de cizallamiento más lentas. Estas ondas pueden desestabilizar laderas y provocar deslizamientos cuando sacuden el terreno.

2.3.7.1 Estructura de una onda

Según Desonie (2025) describe que los elementos de una onda son los siguientes

Cresta: Es el punto más alto situado en el eje central o línea de equilibrio.

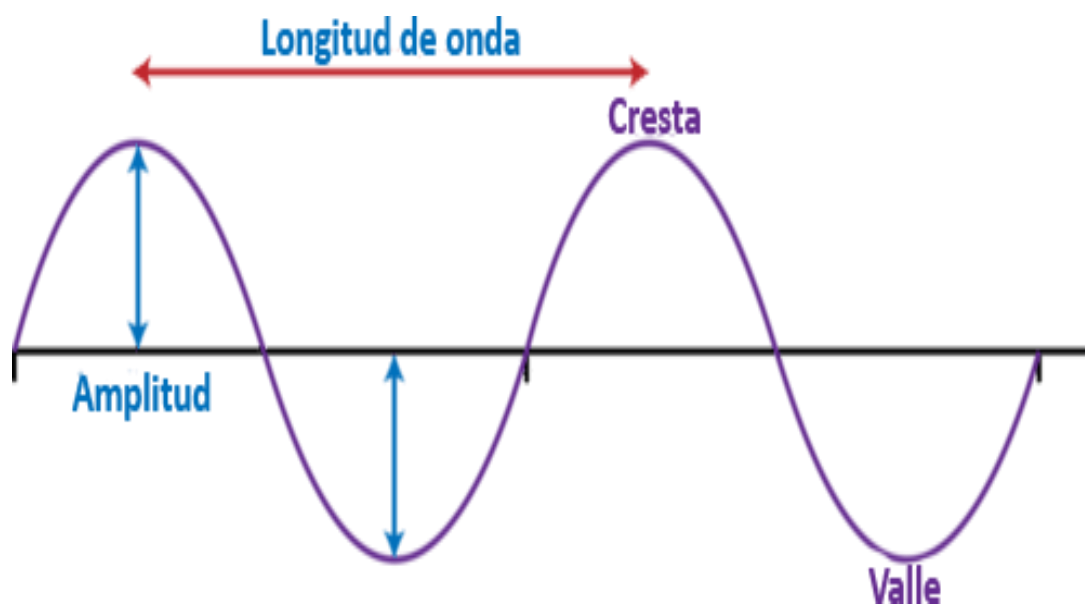
Valle: Es el punto más bajo situado debajo del eje central o línea de equilibrio.

Longitud de onda: Viene a ser el movimiento de un ciclo. También definiéndose como, el espaciamiento máximo de la onda.

Amplitud: Es la altura que es medida desde la línea de equilibrio y la cresta.

Figura 20

Elemento de una onda



Nota. Chou (2025).

2.3.7.2 Tipos de ondas

a) Ondas primarias

Merma (2021) describe que las ondas P, también llamadas ondas primarias, se caracteriza por su modo de propagación único; se distinguen por su capacidad de comprimir y dilatar el medio por el que se desplazan, de manera similar a las ondas sonoras. Su nombre "primarias" se debe a que son las primeras en ser detectadas por los instrumentos sísmicos durante un evento sísmico o perturbación artificial. Aunque transportan menos energía en comparación con otros tipos de ondas sísmicas, las velocidades primarias, pueden ser percibidas por las personas como una vibración sutil al inicio de un terremoto. Estas ondas viajan a través del interior de la corteza terrestre y depende de algunas características principales y son las siguientes:

- Grado de acidez de la roca
- Grado de saturación de cualquier fluido
- Consolidación, consistencia y compactación
- Cantidad de agua retenida en los poros
- Fracturamiento
- Densidad
- Meteorización
- Profundidad
- Alteración

Tabla 6

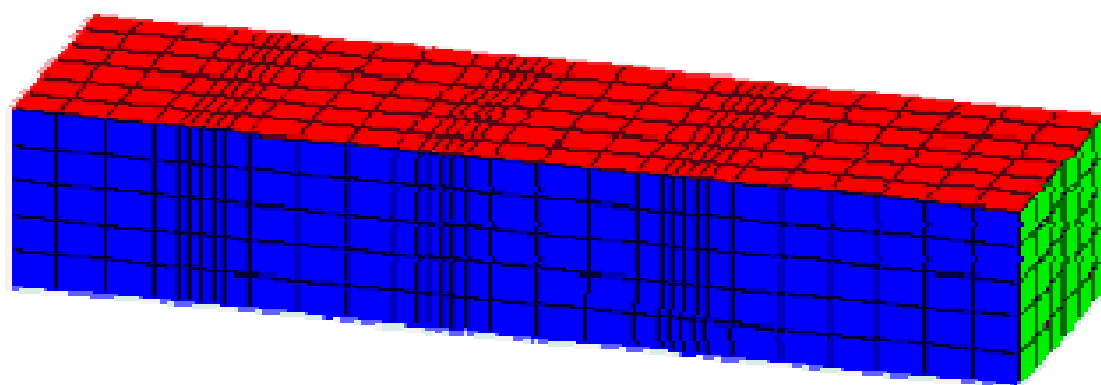
Rangos usuales de variación de la velocidad Jakovsk

Rangos usuales de variación de la velocidad de compresión en diversos tipos de materiales geológicos		
Material Tipo	Velocidad de Compresión (m/s)	
Material superficial (Capa de alteración de suelos y rocas)	305	610
Grava, arena y arcillas (secas y húmedas)	468	915
Arena húmeda	610	1830
Areniscas y lutitas	1830	4270
Caliza	2140	6100
Granito	4580	5800
Rocas metamórficas	3050	7020

Nota. Documento de Orientación Técnica Para La Aplicación Del Monitoreo de Aguas Subterráneas (TED) (1986).

Figura 21

Ondas primarias



Nota. Vilcapoma (2005).

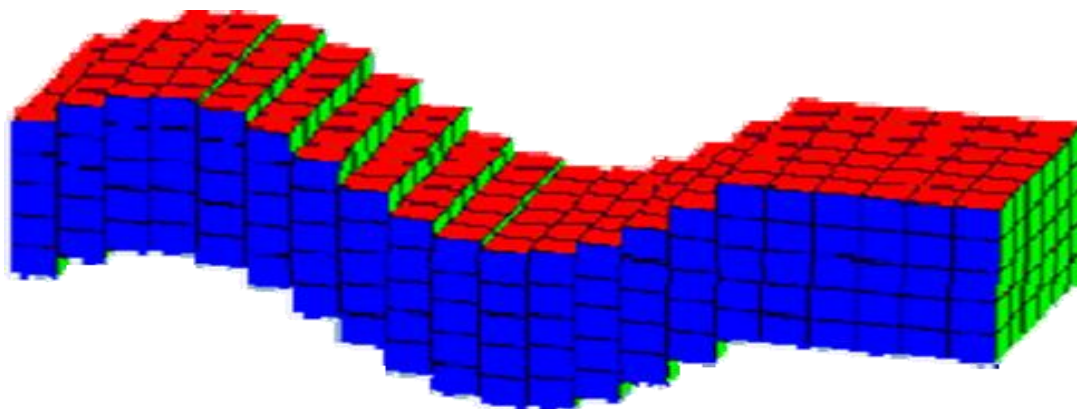
b) Ondas secundarias

Estas ondas, identificadas como secundarias o S, se registran después de las ondas primarias a los instrumentos sísmicos. Se distinguen por un desplazamiento transversal del medio, perpendicular al avance de la perturbación de la onda, con un comportamiento análogo

al de un elemento flexible en oscilación. Además, las ondas S transmiten una mayor proporción de energía y su impacto suele ser más fuerte para las personas que las sienten. Son las que se propagan en el interior de la corteza terrestre (subsuelo) Vilcapoma (2005).

Figura 22

Ondas secundarias



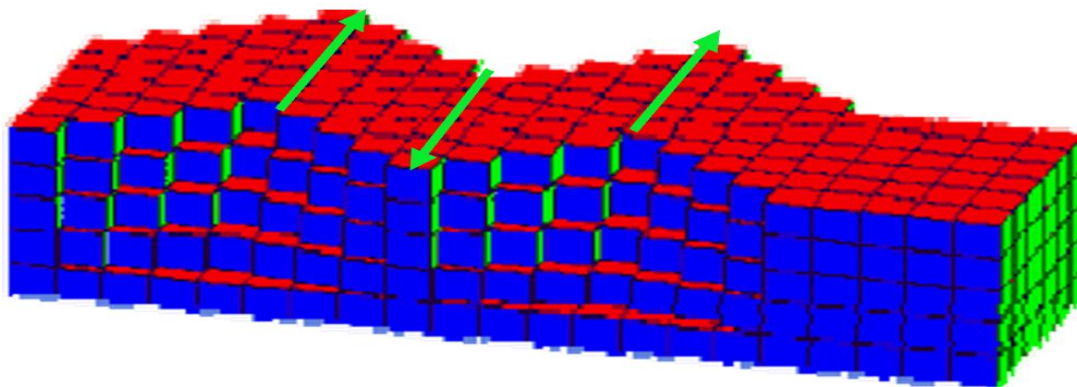
Nota. Vilcapoma (2005).

c) Ondas Love

Denominada onda L_q , se caracteriza porque las partículas vibran de manera semejante a las ondas transversales, con la particularidad de que su desplazamiento se restringe al plano horizontal de la superficie. La velocidad de esta onda es aproximadamente similar a la velocidad de la onda transversal. Se desarrollan en el exterior de la corteza terrestre (Vilcapoma, 2005).

Figura 23

Ondas Love



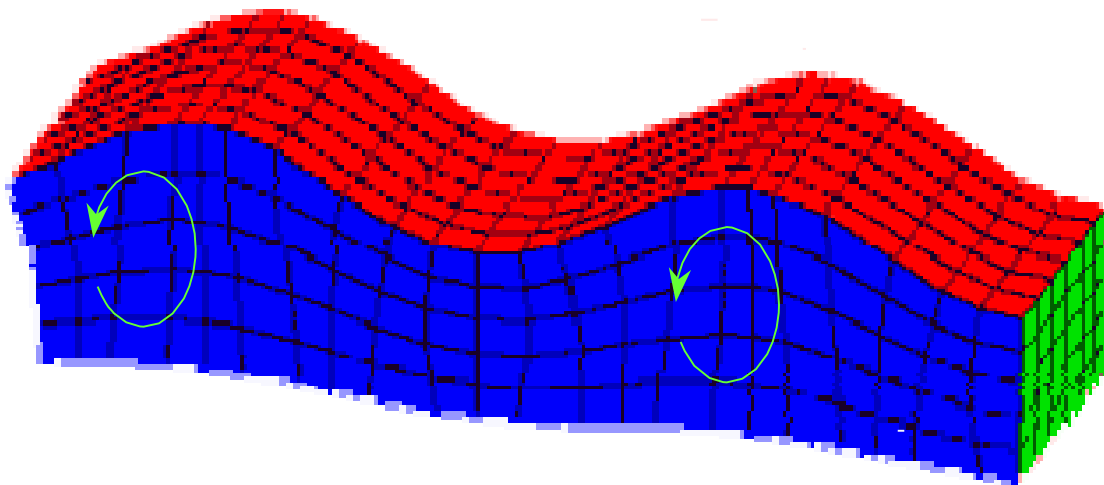
Nota. Vilcapoma (2005).

d) Ondas Rayleigh

Denominada onda Lr, las partículas del medio describen órbitas elípticas retrógradas ubicadas en el plano vertical respecto a la dirección de propagación; la velocidad de esta onda se estima en aproximadamente 0.92 veces la velocidad de la onda transversal. Se desarrollan en el exterior de la corteza terrestre (Vilcapoma, 2005).

Figura 24

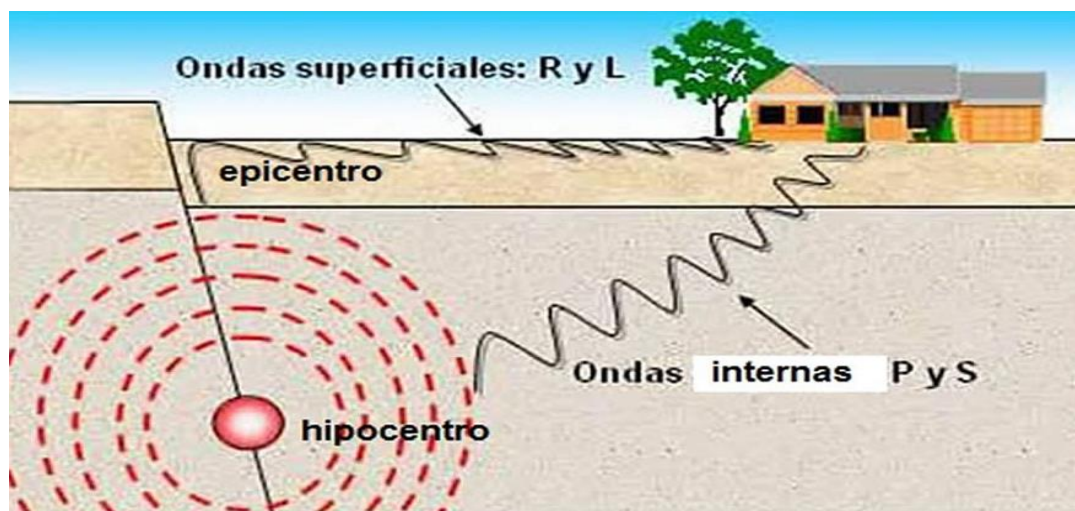
Ondas Rayleigh



Nota. Vilcapoma (2005).

Figura 25

Ondas superficiales e internas



Nota. Rojas (2019).

2.4 Hipótesis

2.4.1 *Hipótesis general*

- **Hi:** Los deslizamientos presentes en el sector Lagunas, provincia de Chota, se caracterizan por encontrarse en estado inactivo y ser de tipo rotacional; asimismo, presentan suelos saturados con valores de potenciales electromagnético entre 0 y 0,3 mV hasta una profundidad de 300 m, y una estratigrafía sísmica con velocidades de onda menores de 180 m/s hasta los 25 m de profundidad, determinada mediante perfiles de al menos 100 m de longitud y clasificada como suelo tipo S3 según la Norma Técnica E.030.
- **Ho:** Los deslizamientos presentes en el sector Lagunas, provincia de Chota, se encuentran activos, son de tipo traslacional, presentan valores registrados mediante el método MSFCEN fuera del intervalo de 0 a 0,3 mV hasta los 300 m de profundidad y poseen una estratigrafía sísmica con velocidades de onda de corte iguales o mayores de 180 m/s hasta los 25 m de profundidad, por lo que no corresponden a un suelo tipo S3 según la Norma Técnica E.030.

2.4.2 *Hipótesis específica*

- El estado actual de los deslizamientos presentes en el sector Lagunas en Chota es inactivo.
- La caracterización del deslizamiento, sector Lagunas, tiene un tipo de deslizamiento rotacional.
- El sector Lagunas tiene presencia de suelos (saturados) de potencial eléctrico entre los rangos de 0 mV a 0.3 mV, a las profundidades de 0 m a 300 m.
- La estratigrafía sísmica del sector Lagunas presenta velocidades de onda menores a 180 m/s en la profundidad de 25 metros y en perfiles de longitud mínima de 100

metros lineales, clasificado según IBC como un tipo D y norma peruana E.030 como suelo S3.

2.5 Operacionalización de variables

2.5.1 *Variable única*

Los deslizamientos: La geometría de los deslizamientos es el análisis de un movimiento de masa, incluyendo sus propiedades elásticas, su extensión, forma, orientación, y la distribución espacial de sus diferentes partes. Este proceso puede implicar el uso de métodos indirectos (geofísicos y detección de frecuencias) para obtener información precisa sobre la geometría unidimensional y bidimensional del deslizamiento, aspecto clave para la evaluación de riesgos, la planificación de medidas de mitigación, y el diseño de estructuras de contención según (Guzmán, 2022; Manyakaidze et al., 2024).

Tabla 7*Operacionalización de variables*

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Definición conceptual	Definición operacional	
				Indicador	Ítem
Deslizamientos	Características morfológicas de los deslizamientos, permiten analizar el estado actual del deslizamiento y clasificarlo según los métodos: MASW, LRS y MSFCEN	Estado de actividad del deslizamiento	Define el estado actual del deslizamiento en función a su morfología.	Clasificado según los estados estipulados en el Multilingual Landslide Glossary (1993) y The Canadian Geotechnical Society (1993)	Activo (actualmente en movimiento)
					Reactivado (sucede después de lluvias, sismos, etc.)
					Inactivo (sin actividad 12 meses)
					Suspendido (actividad en los 12 últimos meses)
					Apagado (inactivo que puede activarse por cualquier desencadenante)
					Abandonado (antónimo de apagado)
					Estabilizado (inactivo que es estabilizado)

Velocidad de propagación de ondas primarias (Vp)	Define clasificación sísmica de suelos teniendo en cuenta la Vp. Metodología Internacional		Suelo meteorizado
			Grava o arena seca
			Arena saturada
			Arcilla Saturada
			Agua
		Clasificación del perfil suelo ASTM D5777 (2018)	Agua de mar
			Arenisca
			Esquistos
			Tiza
			Caliza
Velocidad de propagación de ondas			Granito
			Roca metamórfica
	Define clasificación sísmica de suelos teniendo en cuenta la Vs. Metodología	Clasificación del perfil del suelo NTP E.030 (2018) (Park y Sayers, 2025).	S0
			S1
			S2

secundarias (Vs)	nacional / internacional		S3
	Permite definir la estratigrafía de los perfiles sísmicos		S4
Frecuencias de potencial eléctrico natural	Mide la integridad y composición de saturación del terreno	Se puede estimar según la teoría Hunan Puqi Geological con el manual del equipo PQWT	Milivoltios (mV)
Tipo de deslizamiento	Permite clasificar al deslizamiento en	Determinando por la	Rotacional
	función a	clasificación de	Traslacional
	cualidades generales	desarrollado por Highland y Bobrowsky (2008)	Complejo

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y nivel de investigación

La finalidad de la investigación se centró en la aplicación práctica, ya que buscó describir y comprender las propiedades físicas del terreno y su impacto en los deslizamientos. El enfoque fue de carácter cuantitativo, dado que se basó en la información numérica o estadística que se obtuvo de los parámetros elásticos (perfiles sísmicos) y perfiles detección de frecuencias de los deslizamientos en el sector Lagunas.

El objetivo de la investigación fue de carácter descriptivo, en el sentido que la determinación de los atributos morfológicos de los deslizamientos y velocidades de onda, definió los perfiles sísmicos, dando paso a la caracterización de los deslizamientos del sector Lagunas de la ciudad de Chota.

Los datos fueron adquiridos del sector Lagunas (estudio del suelo), lo que estableció una fuente primaria de información. Los ensayos se realizaron directamente en el campo, para, posteriormente ser procesados los datos obtenidos e identificar las propiedades físicas del suelo. Teniendo como finalidad la caracterización de los deslizamientos del sector Lagunas.

La investigación fue de tipo no experimental, ya que no se realizó manipulación de la variable (deslizamiento). Además, los perfiles sísmicos de las velocidades de las ondas tuvieron en cuenta los tipos de materiales para luego poder caracterizar los deslizamientos del sector Lagunas.

En el estudio de los deslizamientos, se utilizó un enfoque temporal transversal, ya que las variables se registraron en un único momento y las muestras se consideraron independientes, sin experimentar cambios a lo largo del tiempo. Este enfoque proporcionó una información de las condiciones en el momento del deslizamiento, lo que resulta crucial para comprender cómo se originó y qué condiciones lo desencadenaron.

Los estudios se realizaron directamente en la zona de investigación, se tomó en cuenta la morfología del deslizamiento, que nos proporcionó detalles importantes sobre el tipo de material involucrado, la pendiente del terreno, la presencia de puquios, los factores desencadenantes y la dinámica del movimiento. Esta información es crucial para comprender la génesis de los deslizamientos.

La forma de los deslizamientos del sector Lagunas, proporcionó información necesaria para comprender el comportamiento y su mecánica, es por ello que se conoció parámetros como la altura, el ancho, posible profundidad de la superficie de ruptura, la longitud y ancho del deslizamiento, entre otros, para que así caracterizando los deslizamientos. En base a la intervención disciplinaria fueron partícipes los tesisistas del área de ingeniería, dando paso a una investigación unidisciplinaria. Se concluyó que fue una investigación aplicada porque se basó en los estudios geofísicos como describe (Sidle y Ochiai, 2006).

Asimismo, de la influencia de la geología en los movimientos en masa, dando a conocer los tipos de deslizamientos en el sector mencionado. Para la obtención de datos (contexto) es directamente del lugar de estudio. La estrategia fue cuantitativa, porque los datos fueron cuantificables, como, la velocidad de onda de propagación y potencial eléctrico (perfiles) para la caracterización de los deslizamientos del sector Lagunas.

El tipo de estudio fue de carácter descriptivo, en el sentido que la determinación de los atributos morfológicos del deslizamiento, velocidades de onda y potencial eléctrico definen los de perfiles sísmicos y geomagnéticos, dando paso a la caracterización de los deslizamientos.

Tabla 8*Tipo de investigación según criterios*

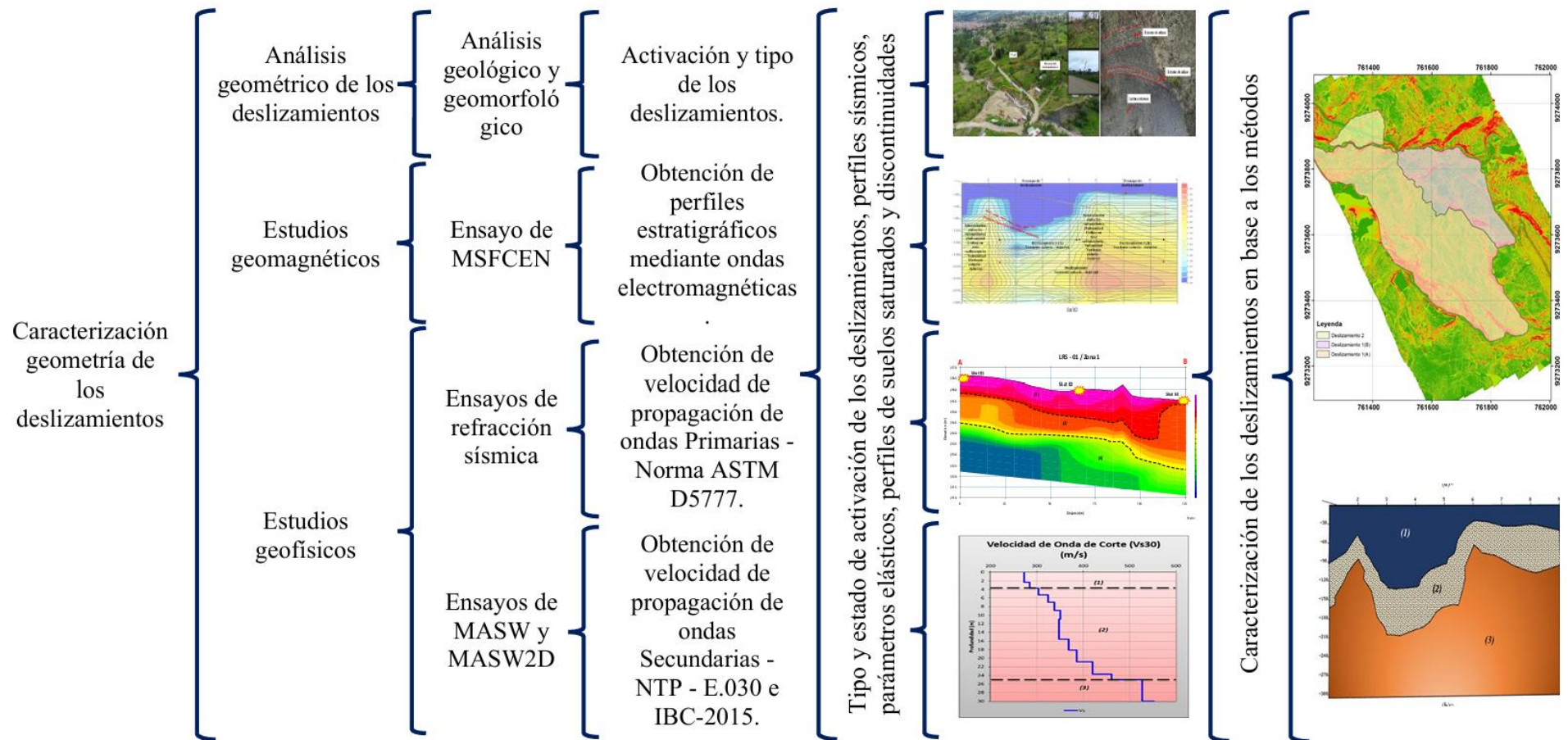
Criterio	Tipo de investigación
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque teórico metodológico	Cuantitativa
Objetivos generales (alcances gen.)	Descriptivo
Fuente de datos	Primaria
Control en el diseño de prueba	No experimental
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Lugar donde se realiza	Campo
Intervención disciplinaria	Unidisciplinaria

Nota. Hernández et al. (2014); Méndez y Astudillo (2008); Pérez y Ruiz (2005); Vieytes (2004).

3.2 Diseño de investigación

Figura 26

Diseño de investigación descriptivo



3.3 Métodos de investigación

En la investigación se aplicó el método descriptivo no experimental (campo y gabinete), porque apuntó a la caracterización geométrica de los deslizamientos mostrando perfiles sísmicos y geomagnéticos en área de estudio.

Método de campo: Mediante este método se identificaron los perfiles de LRS, MASW y MSFCEN (PQWT) en las zonas definidas dentro del área de estudio, con el propósito de obtener los datos necesarios para la recolección de información correspondiente a las 32 unidades de muestreo y su respectiva georreferenciación y su respectiva georreferenciación. Asimismo, se ejecutaron siete líneas de sondeo MSFCEN (PQWT).

Método de Gabinete: En este método se trabajó con datos recolectados en campo para definir los parámetros necesarios para la caracterización geométrica del deslizamiento.

3.4 Población, muestra y muestreo

3.4.1 Ubicación

El sector Lagunas se encuentra cerca de la ciudad, y dentro del distrito y provincia de Chota de la región Cajamarca, que abarca un área de 46 hectáreas aproximadamente. Situada geográficamente en las coordenadas UTM 761620.46 m E y 9273773.813 m N (punto tomado en la desembocadura de la Laguna); a una altura de 2500.49 m s. n. m

Figura 27

Ubicación de la ciudad de Chota

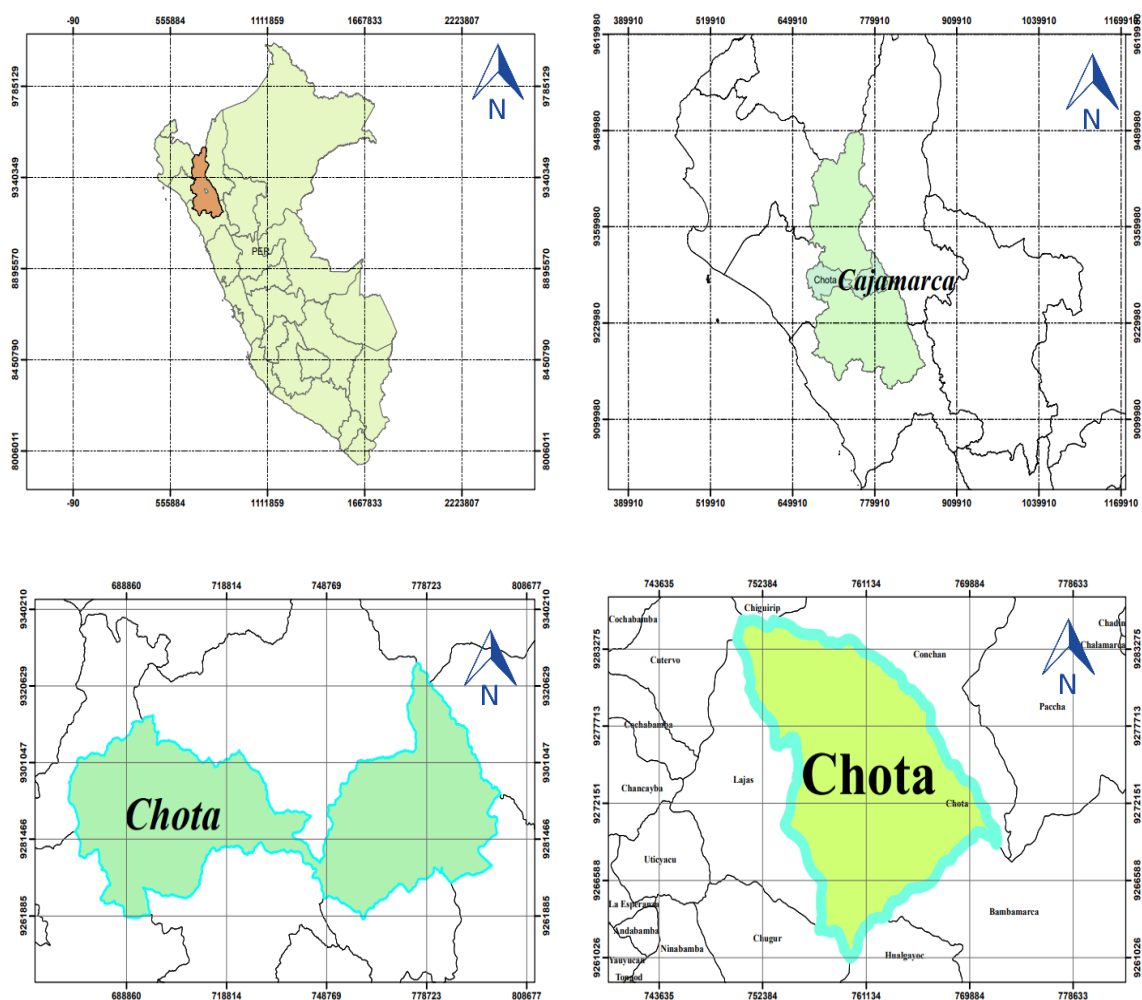
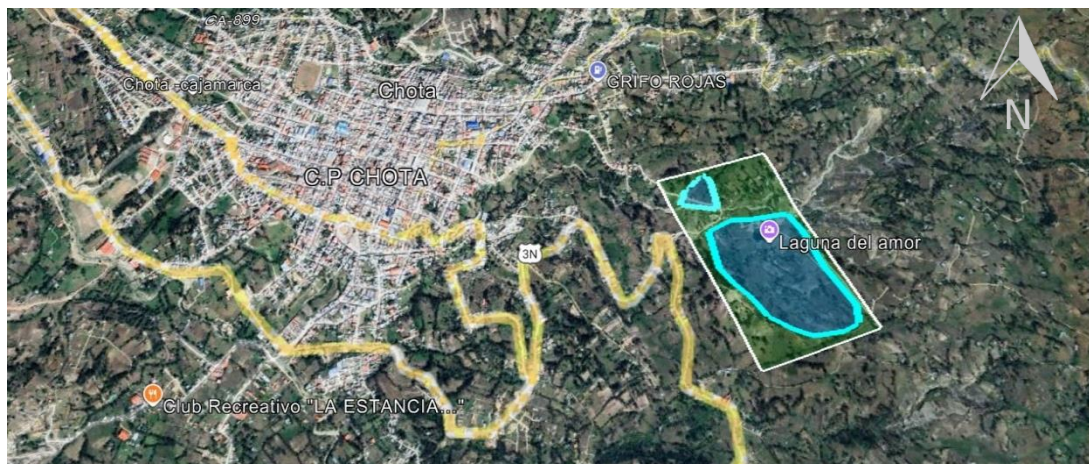


Figura 28

Ubicación del área de estudio en la ciudad de Chota



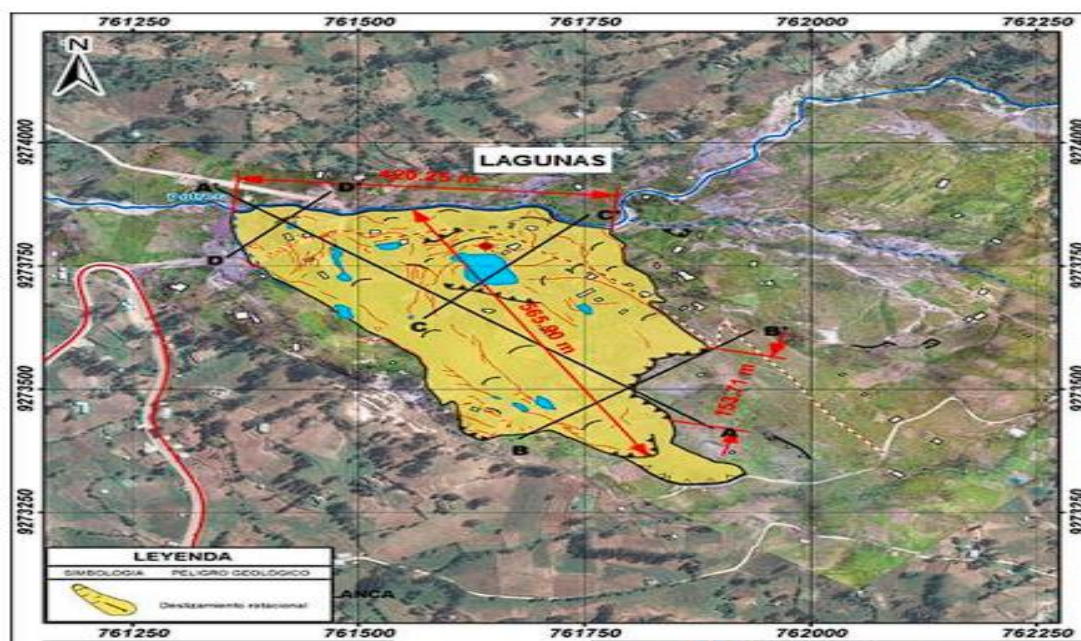
Nota. Área urbana de la ciudad de Chota y área de estudio.

3.4.2 Población

Según INGEMMET por medio de León y Zavaleta (2022) presentado en su informe técnico N.º A7223 de Evaluación de los deslizamientos rotacionales en el sector Lagunas; se ha visto por conveniente tomar un área de 134.4 hectáreas alrededor del área afectada por los deslizamientos de la zona.

Figura 29

Zona de trabajo EVAR-134.4 hectáreas



Nota. León y Zavaleta (2022).

3.4.3 Muestra

La población es de 134.4 hectáreas; el área de la muestra o estudio fue determinada por conveniencia, delimitando así 46 hectáreas, que se ubicó en la zona 17 M, el pie del deslizamiento tuvo coordenadas UTM: 761421.00 m E, 9273835.00 m N y cota de 2476.00 m s. n. m; la corona del mismo presentó coordenadas de 761910.00 m E, 9273304.00 m N y cota de 2577.00 m s. n. m, el cual se situaron a largo del eje del deslizamiento principal: tres líneas de LRS y tres líneas de MASW.

Continuando con los estudios, perpendicular al mismo dos ensayos más con la misma distribución que lo anterior (figura 31 (b)), dando un total de nueve líneas de refracción sísmica y nueve sondajes de MASW, además, tres líneas fueron de MASW-2D (ver figura 31 (d)), con el fin de cubrir la mayor cantidad de información respecto al perfil de los deslizamientos 1A y 1B, así poder estimar las características geométricas y sísmicas de los deslizamientos. A su vez de 5 líneas de prospección de detección de frecuencias (MSFCEN) para la identificación de suelos saturados (figura 31 (a)).

Asimismo, en el pie del siguiente deslizamiento tuvo coordenadas UTM: 761362.00 m E, 9273901.00 m N y cota de 2467.00 m s. n. m, la corona del mismo presentó coordenadas de 761439.00 m E, 9273998.00 m N y una cota de 2492.00 m s. n. m. Se aplicó dos líneas de refracción sísmica y MASW, que se distribuyó en el eje longitudinal y las siguientes líneas perpendicular al eje del deslizamiento (figura 31 (c)), así poder estimar las características geométricas y sísmicas del deslizamiento. También se aplicó 2 líneas prospección de detección de frecuencias (MSFCEN), con la finalidad de identificación de zonas saturadas (figura 31 (a)).

Tabla 9*Localización del tendido de las líneas en el sector Lagunas*

Coordenadas UTM WGS84 17S							
Líneas	Inicio			Fin			Permiso
	E	N	Cota	E	N	Cota	
LRS-01	761901	9273405	2565	761815	9273487	2553	Sí
LRS-02	761962	9273516	2567	761866	9273439	2559	Sí
LRS-03	761767	9273371	2544	761866	9273439	2559	Sí
LRS-04	761838	9273614	2533	761745	9273538	2533	Sí
LRS-05	761745	9273538	2533	761644	9273461	2528	Sí
LRS-06	761658	9273624	2512	761745	9273538	2533	Sí
LRS-07	761704	9273700	2510	761585	9273693	2511	Sí
LRS-08	761459	9273697	2494	761577	9273691	2510	Sí
LRS-09	761588	9273659	2509	761581	9273781	2497	Sí
LRS-10	761435	9274005	2492	761377	9273911	2469	Sí
LRS-11	761319	9273934	2467	761440	9273893	2475	Sí
MASW-(2D) 01	761838	9273614	2533	761745	9273538	2533	Sí
MASW-(2D) 02	761745	9273538	2533	761644	9273461	2528	Sí
MASW-(2D) 03	761658	9273624	2512	761745	9273538	2533	Sí
PQWT 01	761910	9273304	2577	761421	9273835	2476	Sí
PQWT 02	761971	9273492	2569	761712	9273348	2563	Sí
PQWT 03	761567	9273409	2569	761892	9273649	2550	Sí
PQWT 04	761476	9273520	2541	761816	9273814	2502	Sí
PQWT 05	761714	9273925	2509	761652	9273864	2484	Sí
PQWT 06	761297	9273943	2466	761440	9273893	2473	Sí
PQWT 07	761439	9273998	2492	761362	9273901	2467	Sí
	Este			Norte		Cota	

MASW- (1D) 01	761859	9273446	2560	Sí
MASW- (1D) 02	761915	9273478	2559	Sí
MASW- (1D) 03	761817	9273405	2542	Sí
MASW- (1D) 04	761792	9273576	2543	Sí
MASW- (1D) 05	761692	9273497	2524	Sí
MASW- (1D) 06	761701	9273582	2524	Sí
MASW- (1D) 07	761645	9273696	2508	Sí
MASW- (1D) 08	761519	9273694	2497	Sí
MASW- (1D) 09	761584	9273721	2508	Sí
MASW- (1D) 10	761402	9273956	2479	Sí
MASW- (1D) 11	761379	9273912	2469	Sí

Nota. Todas las líneas tienen un mínimo de 100 metros lineales, además, al ensayo de MASW-

1D se tomó las coordenadas en el punto central.

3.4.4 Muestreo

El muestreo se realizó por conveniencia, con la finalidad de tomar la mayor cantidad de información acerca del deslizamiento uno, tomando así las 3 líneas de refracción sísmica y 3 sondajes de MASW y perpendicular a las mismas 2 líneas de refracción sísmica y 2 líneas de MASW por cada línea a lo largo del eje, respectivamente, dando un total de 9 líneas de refracción sísmica y 9 sondaje de MASW. Además, se ejecutó 3 líneas de MASW-2D. En el deslizamiento dos se ejecutaron 2 líneas de LRS y 2 sondajes MASW distribuidos de manera longitudinal y perpendicular al eje del deslizamiento. Además, cada línea tuvo como mínimo 100 metros lineales, como se detalla en la figura 31. A su vez de 7 líneas de detección de frecuencias para la identificación de suelos saturados en el área de estudio, con una profundidad estimada de 300 metros, como se detalla en la tabla 9.

Figura 30

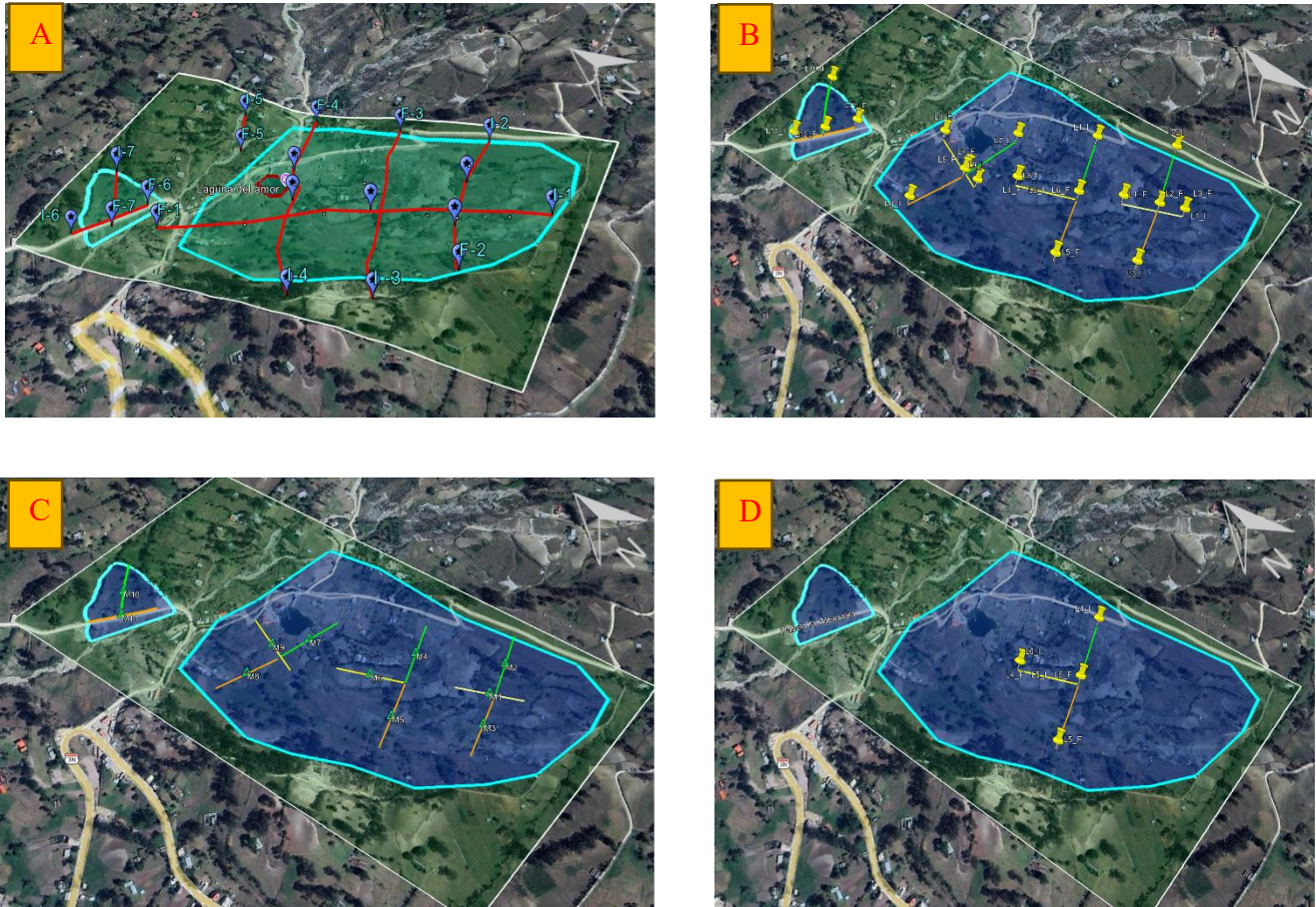
Área de estudio



Nota. Ubicación de los deslizamientos, sector Lagunas.

Figura 31

Se visualiza la distribución de la líneas electromagnéticas y geofísicas: A) Ensayo de frecuencia natural; B) Ensayo MASW 1D; C) Ensayo de refracción sísmica y D) Ensayo de MASW 2D estático.



Nota. Se describe las líneas con un mínimo de 100 metros lineales.

3.4.4.1 Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión aplicados en el área de investigación en los deslizamientos (dos) que fue evaluado por (Tapia, 2025) y por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), dichos deslizamientos y área se muestran en la Figura 30. Se evaluaron los distintos deslizamientos históricos y recientes, donde estaban presentes viviendas propensas a riesgos y peligros y los habitantes eran permanentes. Con respecto a las características geológicas, suelos donde presentaban grietas, fracturas, donde había suelos altamente erosionables. Inclusive zonas donde la pendiente pronunciada según (León y Zavaleta, 2022),

es decir, de topografía irregular, además que zonas con afloramientos, bofedales, humedad superficial o agua estancada, o aguas estancadas, ya que el agua es un factor directamente desencadenante para poder desestabilizar un terreno. Según la investigación de (Georys Ingenieros S.A.C., 2016) “el terreno donde se tiendan las líneas sísmicas las cotas no será muy pronunciadas, es decir, una zona casi plana”.

3.4.4.2 Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión fueron áreas que no eran deslizables, porque se consideró que son suelos estables. Zonas de deslizamiento, pero, que no eran habitables. No se tomaron en cuenta las zonas sin permiso de los pobladores (dueños). Se excluyeron zonas con presencia de vegetación era muy densa por último áreas de deslizamiento que contaban con estudios geofísicos.

Tabla 10

Tabla de criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Zonas de deslizamiento que no cuenten con estudios geofísicos	Zonas de deslizamiento que si cuenten con estudios geofísicos
Áreas donde existan suelos fracturados y presencia de aguas subterráneas.	Zonas estables y no exista presencia de agua
Áreas habitables y que exista presencia de deslizamiento y la topografía sea pronunciada porque es propenso a deslizamientos, aclarando que las unidades de muestreo se realizaron en zonas de no mucho desnivel para mejor precisión de los datos.	Lugar donde no se cuente con permiso para la realización de los estudios y vegetación muy densa

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1 Técnicas de recolección de datos

3.5.1.1 Observación directa

Técnica de recolección de datos que permite al investigador entrar en contacto directo con la muestra, el contexto donde se desenvuelve, permitiendo así una descripción implícita de las cualidades y características de la muestra (Rojas, 2011).

Medina et al. (2023) consideran que la observación se destaca como una herramienta valiosa y adaptable en investigaciones y estudios en una variedad de campos. Proporciona a los investigadores la capacidad de recopilar información detallada e imparcial sobre comportamientos, actitudes y eventos. No obstante, es esencial reconocer los desafíos asociados, como la subjetividad inherente al proceso. Con el uso de métodos rigurosos y la evaluación cuidadosa de los datos, la observación puede convertirse en un medio eficaz para lograr una comprensión profunda de los temas investigados.

En la investigación se utilizó: la observación directa, para recolectar los datos de campo, buscándose recaudar las cualidades físicas (morfología) del suelo, en circunstancias in situ, realizándose: la propagación de velocidad de ondas, la presencia de suelos saturados, en función a la norma ASTM D5777, NTP-0.30 y Manual de operación para PQWT (refracción sísmica, MASW y PQWT). Además, los parámetros elásticos.

3.5.1.2 Análisis de documentos

Según Medina et al. (2023), el análisis documental constituye una herramienta metodológica relevante para la investigación, pues facilita la recopilación y contrastación de información proveniente de diversas fuentes. No obstante, su aplicación requiere una evaluación crítica que permita identificar limitaciones y posibles sesgos en los documentos analizados.

Esta estrategia implica el análisis e interpretación detallados de la información presente en Norma Técnica Peruana, ASTM, manuales, libros, periódicos, materiales grabados, información estadística, entre otros recursos. Posteriormente, se extraen y registran los datos pertinentes utilizando fichas, enfocándose principalmente en las propiedades físicas y dinámicas del suelo.

3.5.2 Instrumentos

3.5.2.1 Cuaderno de campo.

Lo mencionado anteriormente fue fundamental para recopilar una variedad de datos, incluida la identificación de diferentes estratos, la textura del suelo, la presencia de agua, escarpes, y posibles fallas geológicas. Su uso garantizó una recolección ordenada y sistemática de datos, lo que facilitó la interpretación y el análisis posterior de la información recopilada durante el estudio de campo (Anexo B).

3.5.2.2 Fichas de registro estandarizable

Las fichas constituyen un método estructurado para recopilar información proveniente de normas, artículos, libros y tesis relacionados con el tema de investigación. Su diseño uniforme facilitó la organización y el acceso a la información relevante sobre el tema en estudio.

Tabla 11*Fichas y guía de observación para la recolección de datos*

Fichas estandarizables	Ensayo	Libro o norma aplicable	Enfoque al tema
Anexo N.º 1	Ensayo de refracción sísmica (LRS)	ASTM D-5777 (2018)	Describe el tipo de suelo estimado según ASTM D-5777 (2018) respecto a la velocidad de onda
Anexo N.º 2	Ensayo del Análisis Multicanal de Ondas de Superficie (MASW)	NTP E.030 (2018); Díaz y Farfán (2025)	Describe el tipo de suelo estimado según NTP E.030 en relación a la velocidad de onda (velocidad secundaria)
Anexo N.º 3	Ensayo de PQWT	Manual de operación para PQWT	Describe la detección de recursos hídricos (suelos saturados)
Guía de observación	Ensayo	Libro o norma aplicable	Enfoque al tema
Anexo N.º 4	Descripción visual manual	SIGRID, 2023	Recolección de los datos morfológicos y presencia de aguas acumuladas

3.5.2.3 Tablas de registros.

El formato está diseñado para resumir los resultados obtenidos en los ensayos de propiedades físicas, dinámicas, electromagnéticas y geométricas de los deslizamientos del sector Lagunas, como el contenido de los parámetros elásticos, las velocidades de onda y presencia de suelos saturados. Es una herramienta esencial para recopilar de manera organizada y concisa los datos relevantes en el estudio. Este formato permite evaluar y analizar el comportamiento del deslizamiento respecto a las velocidades de onda, proporcionando una

visión general de los resultados obtenidos en el análisis; cada formato está descrito, respecto a su uso.

Tabla 12

Fichas para recolección de datos

Ficha de recolección de datos ensayos sísmicos			
Fichas estandarizables	Ensayo	Norma aplicable	Resultados
Anexo N.º 1	Ensayo de refracción sísmica (LRS)	ASTM D-5777 (2018)	Los resultados son perfiles sísmicos y están en gráficos: tiempo vs velocidad
Anexo N.º 2	Ensayo del Análisis Multicanal de Ondas de Superficie (MASW)	NTP E.030 (2018); Díaz y Farfán (2025)	Los resultados son perfiles sísmicos y están en gráficos: tiempo vs velocidad
Anexo N.º 3	Ensayo de PQWT	Manual de operación para PQWT	Expresado en milivoltios (mV)
Guía de recolección de datos en campo			
Guía de observación	Ensayo	Libro o norma aplicable	Resultados
Anexo N.º 4	Descripción visual manual	SIGRID, 2023	Identificación de escarpes, área de influencia, incidencia de agua.

Nota. Los resultados obtenidos se recolectaron, para así obtener la caracterización de los deslizamientos del sector Lagunas, mencionados anteriormente.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.6.1 Proceso de obtención de datos

3.6.1.1 Exploración del área de estudio

La investigación inició con la visita al área para contar con los permisos de los propietarios. Luego, se procedió a analizar la geomorfología con ayuda de un especialista en riesgos y se identificaron los lugares más factibles, ya que, según la investigación de (Georys Ingenieros S.A.C., 2016) “el terreno donde se tiendan las líneas sísmicas las cotas no fue muy pronunciadas, es decir, una zona casi plana”. Posterior a ello se realizó un levantamiento topográfico en base a la metodología que realizaron (Idrogo y Sagástegui, 2022), para caracterizar las pendientes y alturas.

El sector Lagunas se encuentra al oriente de la ciudad de Chota, ubicado en coordenadas UTM WGS84 17S. Su punto de inicio con respecto al suroeste y cota son: 761910.00 m E, 9273304.00 m N y 2577 m, respectivamente, y su punto final con respecto al noreste y cota son: 761297.00 m E, 9273943.00 m N y 2466 m, respectivamente. la extensión es de 46.00 hectáreas, el cual, fueron ubicadas un total de 32 unidades de muestreo con un mínimo de 100 metros cada tendido. Se evaluó y describió los perfiles sísmicos según la normativa ASTM D5777 y NTP E.030.

Tabla 13

Fichas para recolección de datos

Ensayos in situ y gabinete		
Ensayo	Norma aplicable	Proceso
Ensayo de refracción sísmica (LRS)	ASTM D-5777	Para aplicar el ensayo se eligió un terreno casi plano. Luego se realizó el tendido de las líneas con longitud mayor a 100 metros cada una. El cual tuvo dos cables multipolares con 12

Ensayo del Análisis Multicanal de Ondas de Superficie (MASW- MASW-2D)	NTP E.030 (2018); Díaz y Farfán (2025) Park y Sayers (2025)	conexiones cada uno; para que después conectar a los geófonos a lo largo de los cables. Los geófonos fueron distribuidos equitativamente, en este caso la distancia geofónica de 5 m. Los dos cables multipolares se conectaron al registrador de datos que se ubicó en el centro del tendido de la línea, desde el sismógrafo se conectó la fuente sísmica (sistema de disparo trigger). Para la aplicación de la energía artificial (comba de 25 libras) o energización, de manera estándar que son 3, pero en el estudio se aplicó 5 energizaciones para LRS y MASW-2D estático. El primer a una distancia de 2.5 metros del primer geófono, fuera de la disposición entre geófonos; el segundo, entre los geófonos 6 y 7; el tercero entre los geófonos 12 y 13; el cuarto entre los geófonos 18 y 19, el quinto a 2.5 metros del geófono número 24, fuera también de la disposición de geófonos. El cual se aplicaron 3 golpes por impacto y por cada impacto midió velocidad de fase (c) vs la frecuencia. En el MASW, como también es un método geofísico, tiene mucha similitud en proceso del desarrollo. Cambia en la recolección de datos y en la aplicación de los impactos o energización sísmica. Se aplicó 4 impactos de 3 energizaciones cada uno, distribuidos dos impactos en cada extremo de la línea, ubicados al 10% y al 20% de la longitud. En el MASW-2D estático, igualmente se aplicó 5 energizaciones de 3 impactos cada una. El primer a una distancia de 2.5 metros del primer geófono, fuera de la disposición entre geófonos; el
--	--	--

segundo, entre los geófonos 6 y 7; el tercero entre los geófonos 12 y 13; el cuarto entre los geófonos 18 y 19, el quinto a 2.5 metros del geófono número 24.

En la línea de evaluación, ya definida, y desde el punto inicial, se instaló el primer electrodo, desde allí se midieron 10 metros de distancia en dirección del punto final, donde se instaló el segundo electrodo, luego se tomó la medida del primer punto, posteriormente se movieron 10 metros el electrodo M y el electrodo N, en dirección del punto final, tomando así medida del segundo punto, se repitió hasta terminar la toma de medidas en la longitud completa.

Ensayos en campo (área de los deslizamientos sector Lagunas)		
Ensayo	Norma aplicable	Proceso
Ensayo de MSFCEN	Manual de Operación para el Detector de Agua de Mapeo Automático (MSFCEN)	
Descripción visual manual	SIGRID, 2023	Se realizó el logueo de campo, con el apoyo de nuestro asesor, se analizaron los diferentes escarpes, fracturas del terreno. Se registraron las diferentes pendientes de la zona, las formaciones geológicas la presencia de material dominante y profundidad de los diferentes escarpes, la presencia de trincheras y por último la recolección de datos hidrológicos (presencia de aguas estancadas).

Nota. La distancia entre los geófonos puede variar desde aproximadamente un metro hasta varios cientos de metros, en función del nivel de detalle requerido para caracterizar la geometría y la profundidad de la superficie refractora según la guía (ASTM D5777, 2018). La clasificación de ondas de corte está en base a la NTP E.030.

3.6.2 *Procesamiento de datos*

Se empleó el método cuantitativo, aplicando a la recolección de información representada en cuadros, gráficos de los ensayos geofísicos, se hizo uso de programas computarizados:

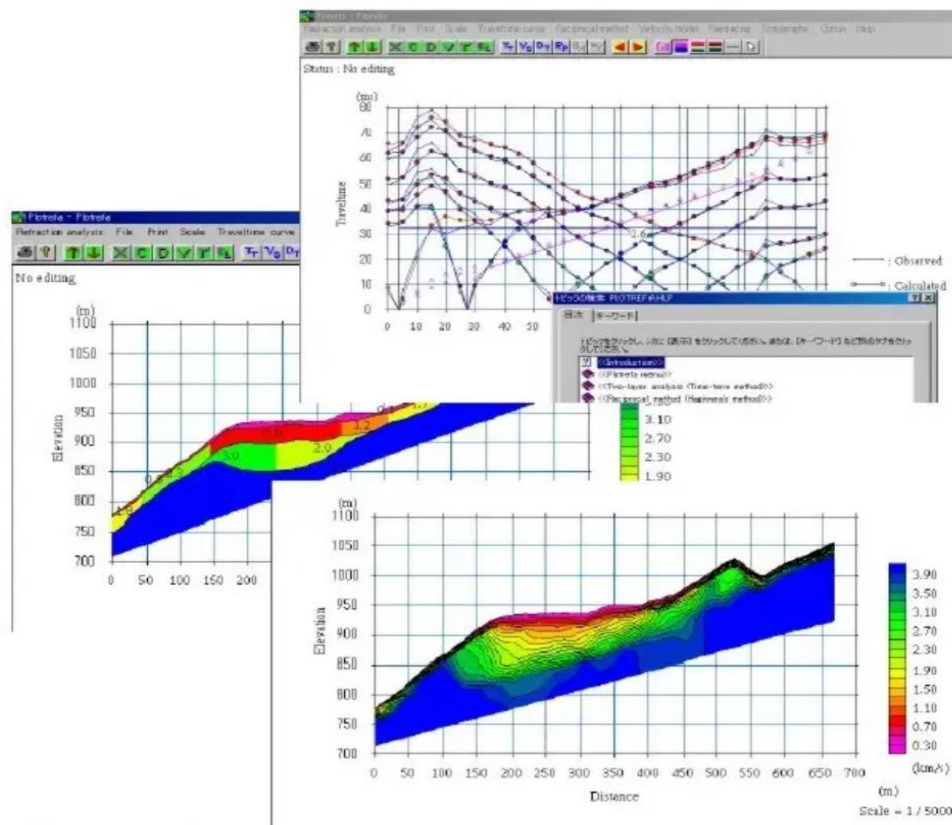
3.6.2.1 *SeisImager*

El software de refracción SeisImager es un paquete de software integrado para interpretación y modelado de refracción. Cuenta con algoritmos de inversión: el método plazo de tiempo, el método de reciprocidad, y la tomografía. Tanto el tiempo de duración y métodos recíprocos se basan en tiempos de retardo. La principal diferencia entre los dos es el método por el cual se calculan los tiempos de retardo. En el método de tiempo de duración, los tiempos de retardo se calculan automáticamente. En el método de tiempo de reciprocidad, los tiempos de retardo se calculan de forma manual. Cada técnica es diferente, y la técnica que debe utilizar depende de los objetivos de la encuesta y el carácter de los datos según (SeisImager, 2009).

La visualización y recolección de datos de campo se realizó en una computadora HP COREi 7 utilizando un equipo geofísico llamado Gea24, proporcionado por PASI, quienes son responsables de adquirir equipos y el software SeisImager para garantizar la seguridad de los datos del proyecto. SeisImager consta de cuatro módulos diseñados para la interpretación de datos de los sondeos de refracción sísmica y MASW: "Pickwin", "Plotrefa", "WaveEq" y "Geoplot"; en este estudio se utilizaron únicamente los tres primeros módulos.

Figura 32

Obtención de datos del programa SeisImager



Nota. SeisImager (2009).

3.6.2.2 *Google Earth Pro*

Para delimitar la zona. sacar los puntos y preciar área de estudio mediante el criterio del investigador, sin embargo, basado en normativa NTP E0.30, y el perfil del suelo ASTM D5777. Tomando en cuenta algunos artículos mencionados en los antecedentes.

3.6.2.3 *ArcGIS 10.8*

Se delimitaron unidades geológicas y elaboraron mapas de pendiente y alturas, se realizó según: su relieve, presencia de zonas con evidencias superficiales de humedad o saturación, visto que es un software muy bueno en el campo de la geografía y cartografía. Puede ser útil para analizar y visualizar datos geofísicos junto con datos geográficos.

3.6.2.4 *Microsoft Excel 2022*

Se procesaron los análisis básicos obtenidos de las fichas de laboratorio (gabinete) y guía de observación de campo.

3.6.2.5 *AutoCAD*

Según Urquizo (2020) el AutoCAD constituye una herramienta informática de uso extendido en ingeniería, gracias a sus capacidades para la edición y organización gráfica. En este trabajo, se empleó para mejorar la visualización del perfil obtenido con Plotrefa, mediante la incorporación de elementos gráficos como leyendas, títulos, ajuste de la escala e inclusión de los perfiles geomagnéticos y geosísmicos en diferentes dimensiones (1D, 2D, entre otros).

3.6.3 *Análisis de datos*

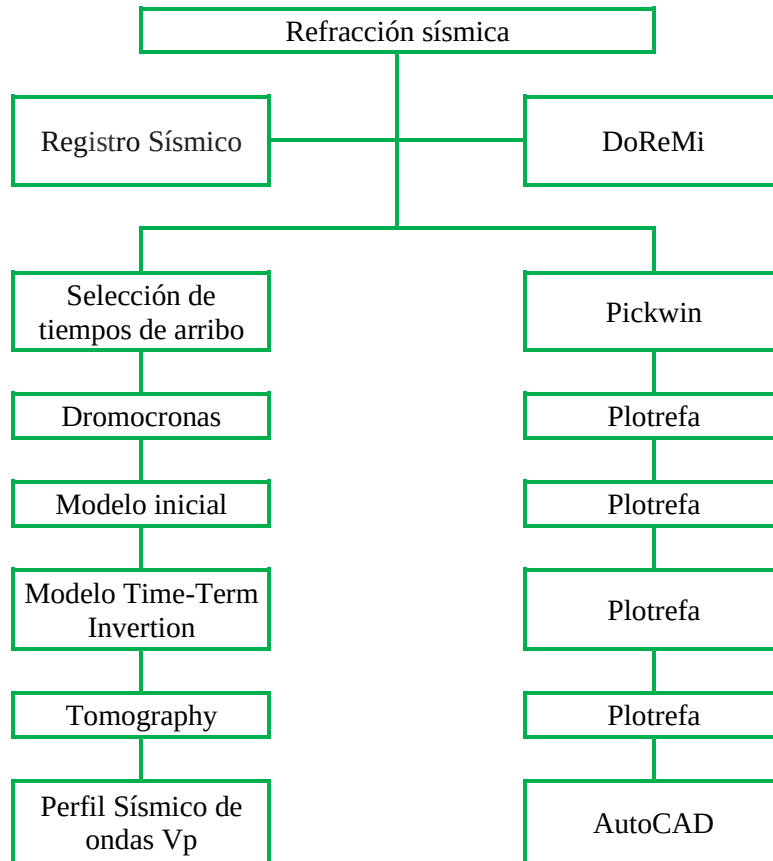
Se realizó con las técnicas estadísticas descriptivas, además, nos apoyamos en ek análisis multivariado, siendo un método que se basa en identificar relaciones complejas entre diferentes propiedades dinámicas y cómo se correlacionan en diferentes áreas. Se utilizó el programa SeisImager, para determinar si se rechaza o acepta la hipótesis nula (Ho).

El software SeisImager incluye y se basa en normas, bibliotecas de materiales y asignar propiedades dinámicas específicas a diferentes tipos de suelos y rocas es esencial para realizar

un análisis físico dinámico detallado y preciso en el contexto de la caracterización geométrica de los deslizamientos del sector Lagunas.

Figura 33

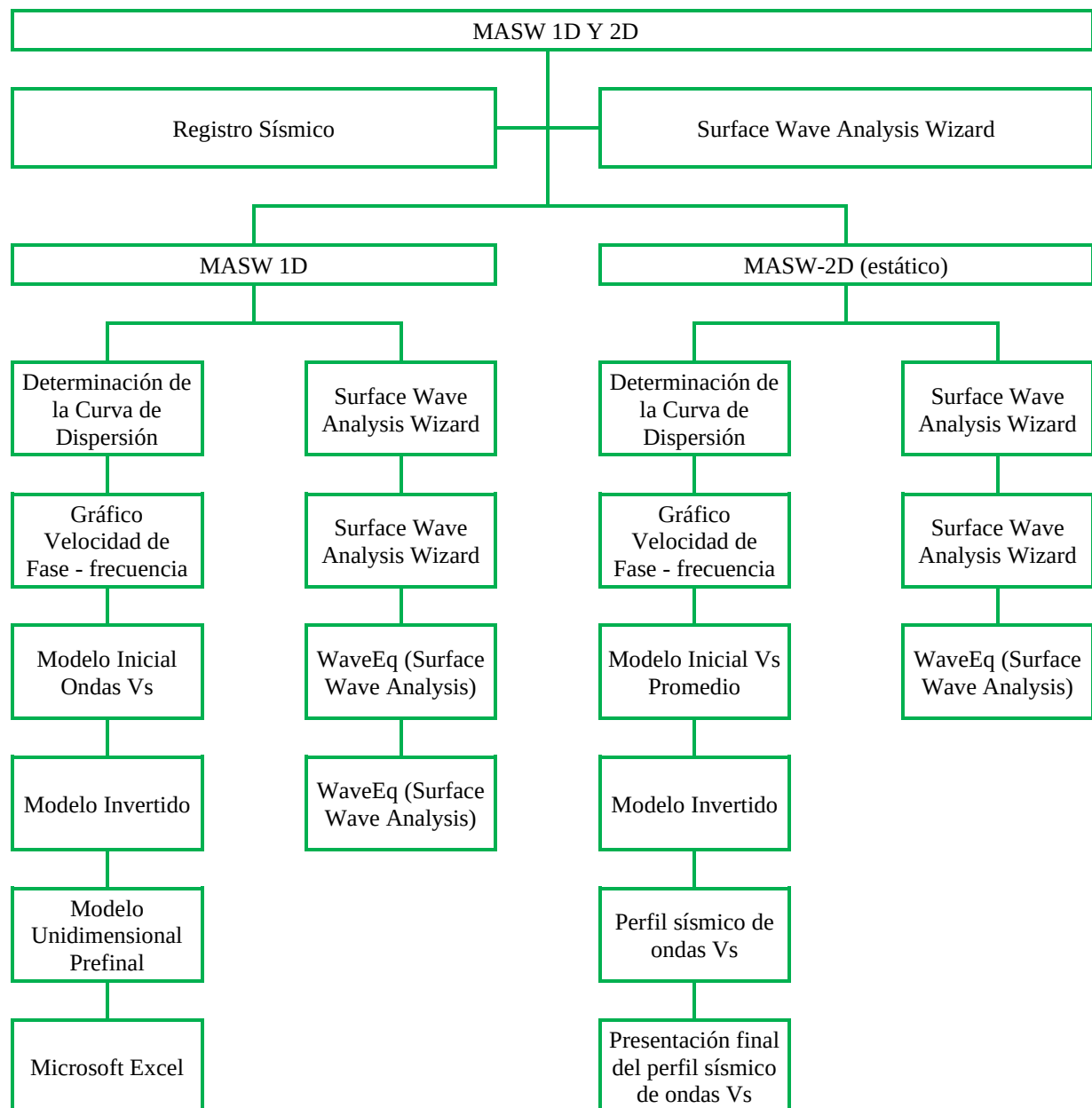
Procedimiento en el procesamiento de datos empleado para la refracción sísmica



Nota. Según Urquizo (2020).

Figura 34

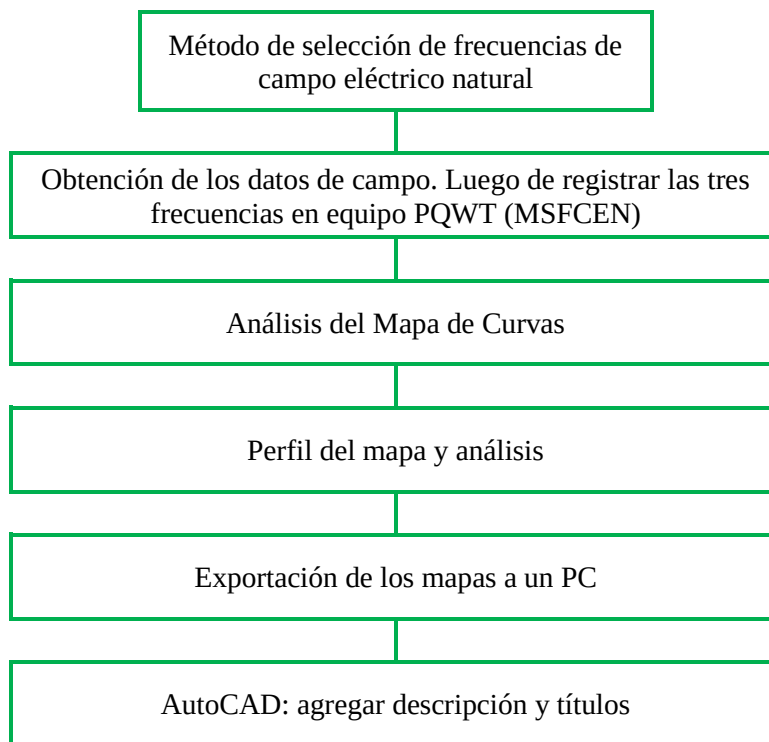
Procedimiento en el procesamiento de datos empleado para MASW 1D Y MASW-2D estático



Nota. Procesamiento de datos de MASW y MASW-2D, modificado de (Urquiza, 2020).

Figura 35

Procesamiento del método MSFCEN



Nota. Se describe el procesamiento del método MSFCEN.

Según Rodríguez y Ruiz (2021) aunque el equipo PQWT oculta el proceso completo de los datos detrás de patentes, lo que hace que el procedimiento exacto no sea muy claro, es posible asociar un valor del campo eléctrico medido a una frecuencia determinada con un valor de potencial eléctrico a cierta profundidad.

3.7 Aspectos éticos

Según Schöpfel et al. (2020) realizar investigaciones científicas y emplear los conocimientos resultantes de la ciencia demanda que los investigadores se comporten de manera ética. Las pautas éticas derivadas de la investigación a ciencia abierta son:

- La consideración del valor social o científico debe ser una prioridad ética, debido a su capacidad para promover la utilización responsable de recursos escasos y aporte científico además generar conocimiento útil y fiable sobre la investigación.
- Es de vital importancia demostrar un profundo respeto, transparencia y objetividad por el entorno en el cual se desarrolla la investigación, basándose en normativas, con el fin de respetar la comunidad científica y el desarrollo investigación en un ambiente de ética y moral.

3.7.1 *Reglamento General del Código de Ética para Investigación científica de la*

UNACH - Artículo 16°. Comportamiento honesto

El personal involucrado en actividades de investigación incluyendo docentes investigadores, profesores, estudiantes, egresados, autoridades y trabajadores administrativos:

- Evitar cualquier tipo de fraude y actuar siempre con honestidad y veracidad al presentar los resultados de la investigación.
- No omitir la referencia a los autores originales al citar información bibliográfica.
- Informar y documentar los casos de plagio identificados en trabajos de investigación, procurando previamente aplicar medidas correctivas.
- Solo se debe aparecer como autor de una publicación científica cuando se ha participado de forma real y activa en el desarrollo de la investigación.
- Asegurar que todas las acciones relacionadas con la investigación se alineen con las normas institucionales de ética científica.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Para dar paso a los resultados de la caracterización geométrica de los deslizamientos se basó en la geomorfología y geología del área de estudio (sector Lagunas), para describir y analizar: el estado de activación y los tipos de deslizamientos. En cambio, para caracterizar presencia de suelos saturados, posibles discontinuidades de los estratos, se utilizó el ensayo MSFCEN, además se aplicaron los ensayos geosísmicos (MASW, MASW-2D y LRS) para la caracterización de la estratigrafía de los perfiles sísmicos a 25 m.

4.1.1 Estado de los deslizamientos

El estado actual de los deslizamientos está directamente asociado a las unidades geomorfológicas y la geología del área de estudio. No obstante, fueron las precipitaciones intensas (figura 53) y la consecuente saturación de los suelos (figura 44), los factores desencadenantes clave que activaron estos procesos. Un ejemplo notable es el deslizamiento 1 (B), situado en el noroeste del área del sector Lagunas, el cual se activó el 15 de marzo de 2021.

Durante las visitas técnicas a campo se recopiló información sobre las unidades geomorfológicas del sector Lagunas. Se analizó e identificó, colinas estructurales en roca sedimentaria, predominantemente son anticlinales y sinclinales, presentando un rango de pendientes que oscila entre suaves y abruptas. Esta unidad se encuentra afectada por procesos erosivos activos (figura 36).

Asimismo, se observó la influencia de la unidad de piedemonte, compuesta por vertientes de origen coluvio-deluvial. Esta unidad se distribuye de forma heterogénea, tanto en el cuerpo principal de los deslizamientos como en sus zonas de acumulación de material (figura 37). Cabe destacar la gran influencia hidrológica por la presencia de puquios (manantiales) que mantienen un flujo de agua permanentemente, aumentan la susceptibilidad.

Figura 36*Área de los deslizamientos 1(A) y 1(B)*

Nota. Se muestra el área de estudio donde se ven los escarpes en proceso de reactivación y activos en los deslizamientos. A ello se suma la presencia de humedad concentrada en la parte inferior (zona de acumulación) del movimiento en masa

Figura 37

Vista del área de evaluación asentado sobre vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)

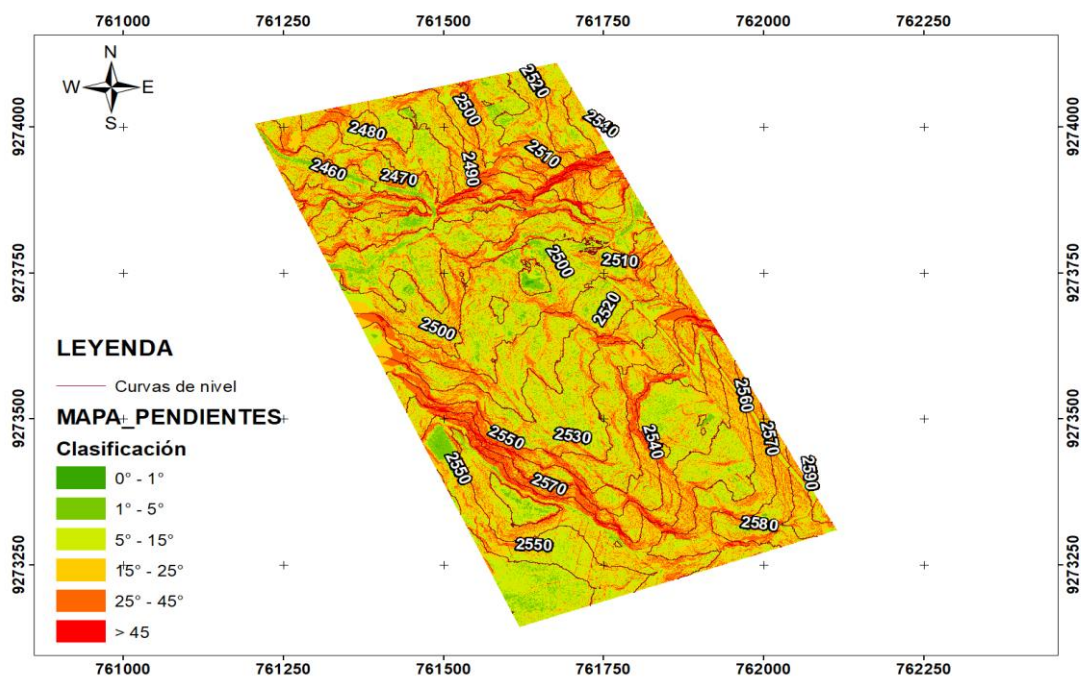
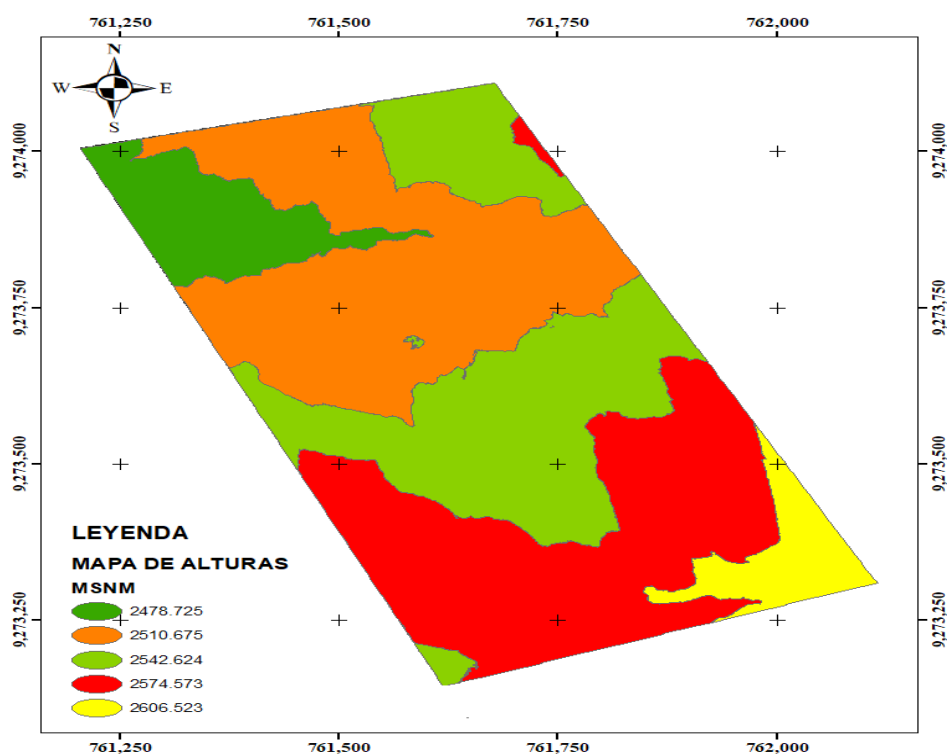


Nota. Material vertiente coluvio-deluvial removido en la zona evaluada.

La descripción geomorfológica del sector Lagunas, también se realizó considerando los mapas de pendientes y elevaciones; del análisis de pendientes (figura 38) se identificaron zonas clasificadas en suaves (1° hasta 5°), moderadas (5° hasta 15°), fuertes (15° hasta 25°), escarpadas (25° hasta 45°) y muy escarpado (mayor a 45°). En los escarpes de los deslizamientos se delimitan principalmente con pendientes que, en su mayoría, son mayores 45° (terrenos escarpados y muy escarpados). El cuerpo y área de acumulación, se visualizó zonas suaves, moderadas y fuertes, que van en dirección del deslizamiento (figura 56).

El sector Lagunas fue clasificado en cinco rangos de altitudes. El rango 1, abarca desde los 2606.5 hasta los 2574.6 m s. n. m el rango 2 se define entre los 2574.573 y los 2542.624 m s. n. m el rango 3 comprende el rango de 2542.624 a 2510.675 m s. n. m Esta sectorización continúa de manera sucesiva con el rango 4 (2510.675 - 2478.725 m s. n. m), el rango 5 (2478.725 - 2446.78 m s. n. m) que representa la de menor elevación, para el estudio se tomó 4 zonas, desde el color rojo hasta el color verde oscuro (figura 39).

Según el rango de alturas se puede visualizar lo siguiente: el deslizamiento 1(A), está dentro las zonas 1, 2 y 3, de igual forma el deslizamiento 1(B) está en las zonas 1, 2 y 3, por último, el deslizamiento dos está en las zonas 3 y 4. Asimismo, Los deslizamientos se mueven en dirección de las corrientes del agua presentes en el sector, entendiéndose que la condicionante del movimiento es la erosión de la misma. La gran diferencia de alturas en tramos pequeños, y la gran variabilidad de pendientes en los deslizamientos son característicos de los deslizamientos, que clasificado por el INGEMMET, presentan un carácter rotacional.

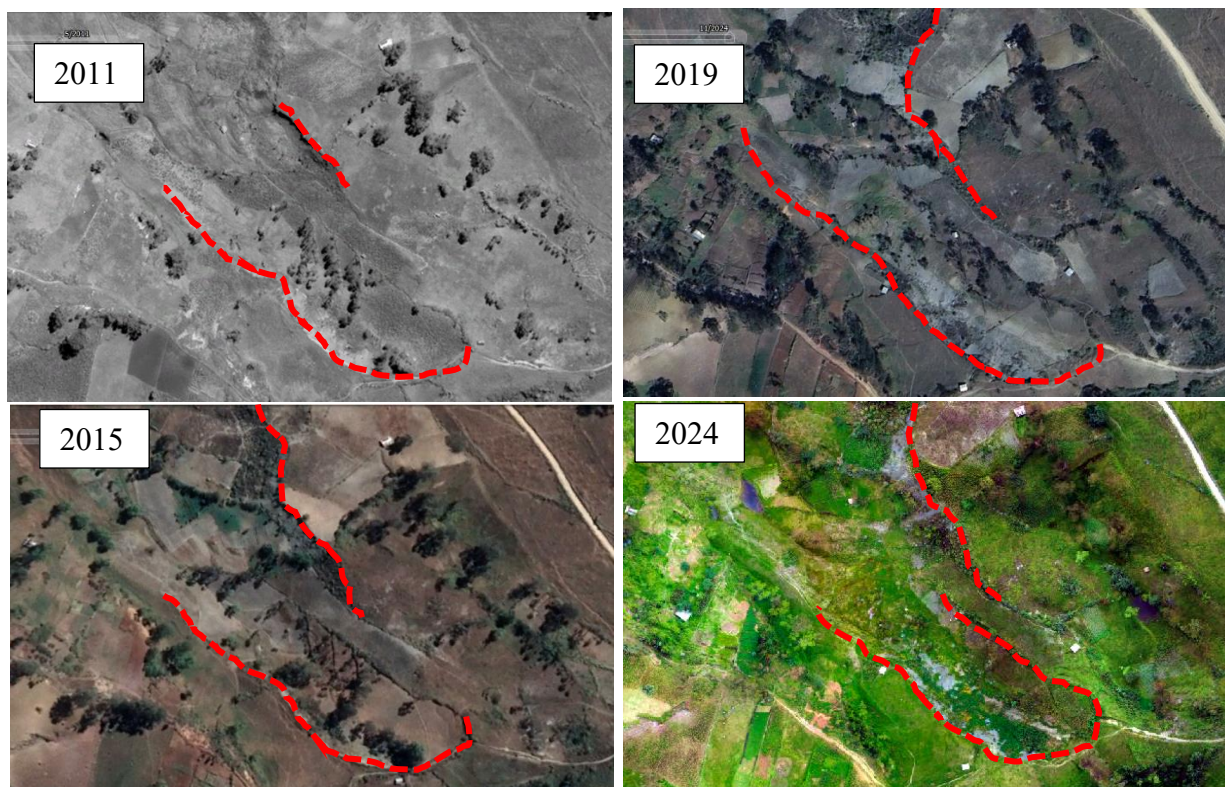
Figura 39*Mapa de pendientes***Figura 38***Mapa de alturas*

Con el análisis geomorfológico asimismo de las diferentes pendientes de suaves a abruptas (escarpada) y áreas donde el nivel freático es muy alto (puquios). El estado de deslizamiento es activo y en proceso de reactivación, porque presenta movimiento lento en un tiempo menor a 12 meses, se evidenció en la figura 40, comparaciones entre la geometría del terreno durante los años 2011, 2015, 2019 y 2024. Asimismo, un cambio notable y afirmando la reactivación de los deslizamientos, cuando se analizó la geometría de la laguna del Amor en múltiples años (figura 41).

En el caso del deslizamiento dos, la evidencia de campo indica que su actividad se debe principalmente a la socavación y erosión progresiva en el pie de la masa deslizante, durante la temporada de invierno, causada por la acción de la quebrada Potrera (figura 43). Dicha inestabilidad se ve corroborada por la inclinación de los postes de luz, lo cual constituye un indicador notable de deslizamiento activo.

Figura 40

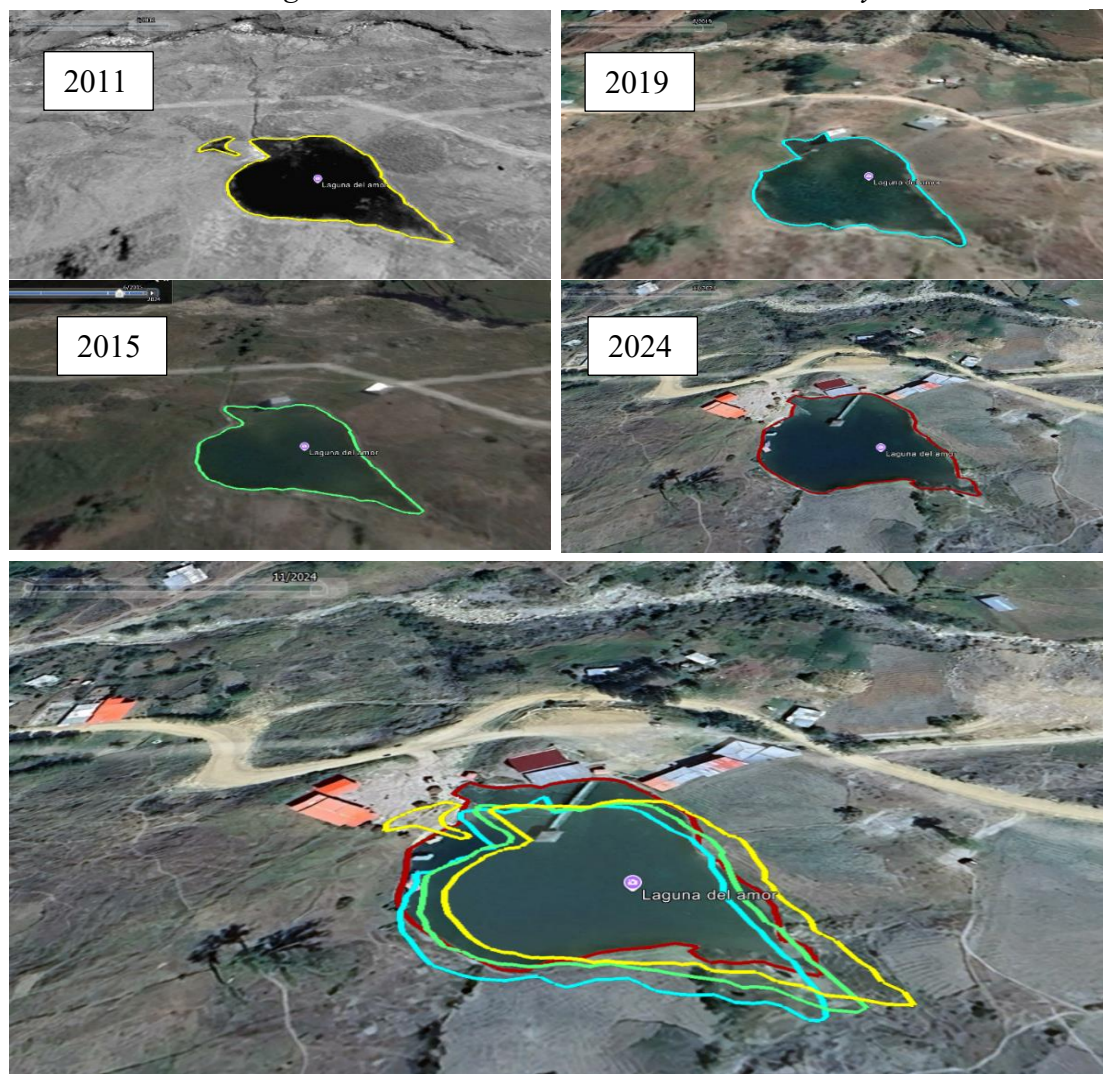
Avance de deslizamiento durante los años 2011, 2015, 2019 y 2024



Nota. Desarrollo del escarpe principal del movimiento de masa complejo.

Figura 42

Aumento de área de la laguna del amor en los años 2011, 2015, 2019 y 2024



Nota. Laguna permanente y crecimiento al lado suroeste.

Figura 41

Pie del deslizamiento en proceso de reactivación en periodo de invierno



Nota. Erosión de la carretera que conecta Chota y el sector Lagunas.

El escarpe principal del segundo deslizamiento al noreste de la carretera con base en la quebrada, presenta una ruptura bien diferenciada compuesta por material lutítico, representada por una intensa coloración gris y estar cubierta completamente por materia vegetal, presenta alta saturación al lado noreste respecto a la laguna. La peligrosidad de los deslizamientos es contundente, las imágenes muestran los efectos erosivos de la quebrada Potrera, afectando directamente el pie del primer y segundo deslizamiento, aumentando así el peligro de deslizamiento, confirmando que el sector lagunas presenta un **peligro muy alto**.

Figura 43

Área de trabajo del deslizamiento N.º 2



Nota. Erosión y socavación del pie del talud, por la activación de la quebrada Potrera.

4.1.2 Tipos de deslizamiento presentes en el sector Lagunas

a) Litoestratigrafía

Depósitos bofedales (Q-bo)

En el ámbito de la investigación se evidenció depósitos bofedales, pertenecen a suelos hidromórficos en relación a su estado de saturación, en condiciones de anegamiento permanente (superficial o aflorante) o condiciones de afloramientos de agua constante

(puquiales) que caracterizan a los depósitos bofedales. Estos suelos son el producto del acoplamiento y vinculación de materiales litológicos como conglomerados, arenas y arcillas, mezclados con una alta fracción de materia orgánica, que es la que les otorga el color pardo oscuro o negro que los caracteriza, presentado en el cuerpo de los deslizamientos del área de estudio. La materia orgánica de los suelos de bofedal se presenta en general, en varias etapas de descomposición, lo que genera condiciones apropiadas de acumulación de agua y de estructura esponjosa apropiada para la función ecológica de los bofedales.

El espesor de los depósitos de bofedales en la zona es variable (figura 59 y 60). Los depósitos se encuentran en cuerpo y pie de los deslizamientos (zonas con topografías mayormente moderadas), donde el agua procedente de las lluvias y las zonas saturadas se ve favorecida y facilitando la condición de saturación permanente.

Figura 44

Vista de los depósitos bofedales, saturados en agua, ubicados en la zona de deslizamiento



Nota. Bofedales, afloramientos y presencia de agua en el ámbito de la investigación.

Formación Chota - Miembro inferior (Pp-cho/i)

Los afloramientos de la Formación Chota - Miembro inferior se encuentran situados en mayor cantidad en la parte oeste y suroeste de los deslizamientos, representado por conglomerados compuestos por clastos de forma redondeada, predominando los fragmentos de origen cuarcítico frente a los fragmentos de origen volcánico. Estos clastos presentan un tamaño medio de aproximadamente 10 cm y están inmersos en una matriz compuesta por material areno-limoso (figura 45).

Figura 45

Vista de los depósitos de conglomerados, con bloques y gravas en matriz areno-limosa



Nota. Matriz areno-arcillosa perteneciente a la Formación Chota-Miembro inferior.

Depósitos coluvio-deluviales (Q-cd)

En la zona evaluada, están constituidos por materiales de naturaleza heterogénea, formados principalmente por fragmentos angulosos de lutitas y areniscas, los que están inmersos en una matriz arcillosa con colores que van desde el gris claro al gris muy oscuro. Esta matriz es resultado de la meteorización de los materiales fuente. Dichos depósitos están relacionados principalmente con las zonas de pie de monte de la Formación Celendín (figura 46) y se han desarrollado mediante la acción de procesos coluviales (de tipo gravitacional) y deluviales (de transporte por agua), desarrollándose en áreas de pendiente moderada a fuerte.

Figura 46

Socavación y erosión de la Formación Celendín y presencia de estratos de calizas



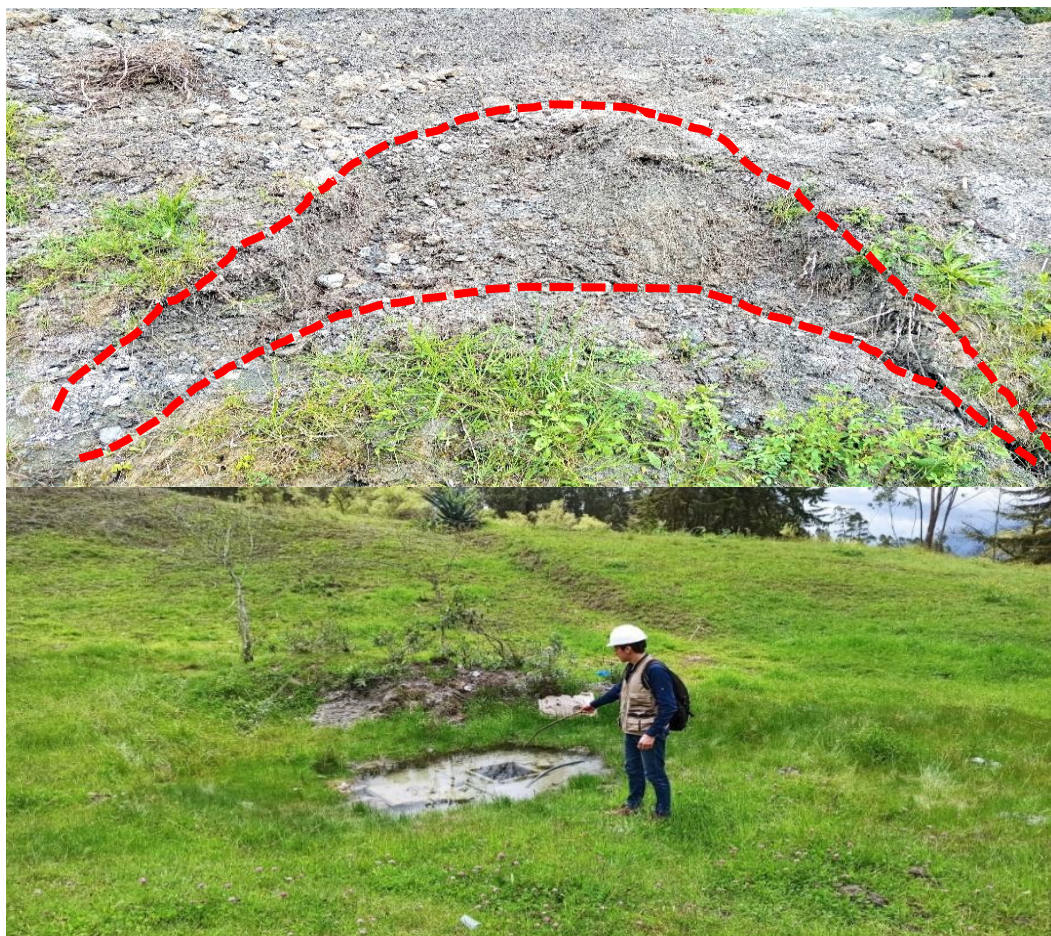
Nota. Presencia de Formación Celendín en el pie del deslizamiento.

b) Geodinámica externa

En la zona de investigación se evidencian procesos de geodinámica externa con incidencia significativa, principalmente movimientos de masa que presentan un riesgo considerable para la estabilidad de las laderas y cualquier infraestructura o elemento adyacente en el sector Lagunas. Entre los agentes causales predominantes, destaca la precipitación pluvial (figura 53), debido a su volumen y frecuencia, ejerce una influencia directa y potencialmente desestabilizadora en la integridad de las laderas. Además, la presencia de ojos de agua (puquios) contribuye al aumento de la humedad del suelo y facilita procesos de erosión interna, incrementando el riesgo de deslizamientos o colapsos (figura 47).

Figura 47

Vista de la masa deslizada con afloramiento hídrico



Nota. Grietas y afloramiento de agua producto de precipitaciones.

c) Riesgo geológico

Los riesgos geológicos que han sido catalogados a partir de la zona analizada corresponden a movimientos en masa. En particular, se tratará de deslizamientos rotacionales, antiguos; deslizamientos en proceso de reactivación. Este tipo de deslizamiento es debido a factores hidrometeorológicos, geológicos, mecánicos y químicos que van interaccionando en la superficie terrestre y que favorecen la pérdida de estabilidad del terreno.

El proceso está regido por varios agentes, por ejemplo, la meteorización física y química, que disminuye la capacidad resistente del suelo y rocas. Además, las ocurrencias sísmicas que generan fuerzas de aceleración en las laderas que disminuyen la cohesión interna. Asimismo, las lluvias intensas y prolongadas son otro factor importante puesto que el agua que penetra en el subsuelo disminuye la resistencia al corte, eleva el nivel freático y aumenta la carga de los materiales, por lo que favorece el deslizamiento.

La actividad del hombre, que se puede traducir en la construcción de infraestructuras (viviendas), excavaciones y talas, modifica las condiciones naturales de las pendientes, es decir, su estabilidad para arrastrar los materiales e intensificar el proceso de erosión y remoción de materiales. Todos estos factores, combinados, cambian el relieve, modificando las laderas inestables en unas más llanas; este último cambio influye en la evolución geodinámica del terreno y el peligro geológico del sector Lagunas.

Deslizamientos rotacionales en el sector Lagunas.

Se han detectado deslizamientos con una inclinación hacia el noroeste (figura 48), cuyos rasgos morfológicos y direccionalidad sugieren un proceso activo y en reactivación. El escarpe principal presenta saltos que son especialmente característicos de los deslizamientos rotacionales, variando las alturas entre 10 y 15 metros, definiendo la existencia de una zona de rotura bien establecida. Aparecen, también, grietas tensionales con aberturas de hasta 50 cm, que se comportan como indicadores directos de la inestabilidad misma del terreno.

Las fracturas aparecen como consecuencia de esfuerzos tensionales acumulados, que generan desplazamientos en el material mismo y la infiltración de agua que incrementa el peso y la presión hidrostática en el interior de la masa deslizante. La existencia de estos aspectos morfológicos pone de manifiesto que el deslizamiento está caracterizado por una cinemática activa y en proceso de reactivación y que puede traducirse en una aceleración de ese desafío; bajo condiciones extremas de precipitaciones o actividad sísmica.

La existencia de un nivel freático superficial denota que el suelo se encuentra en condiciones de saturación (figura 54), lo que disminuye su resistencia al corte y favorece procesos de movimiento en masa. Este elevado nivel de saturación incrementa la presión de poros que debilita los enlaces estructurales del suelo y la ocurrencia de deslizamientos bajo condiciones de esfuerzo.

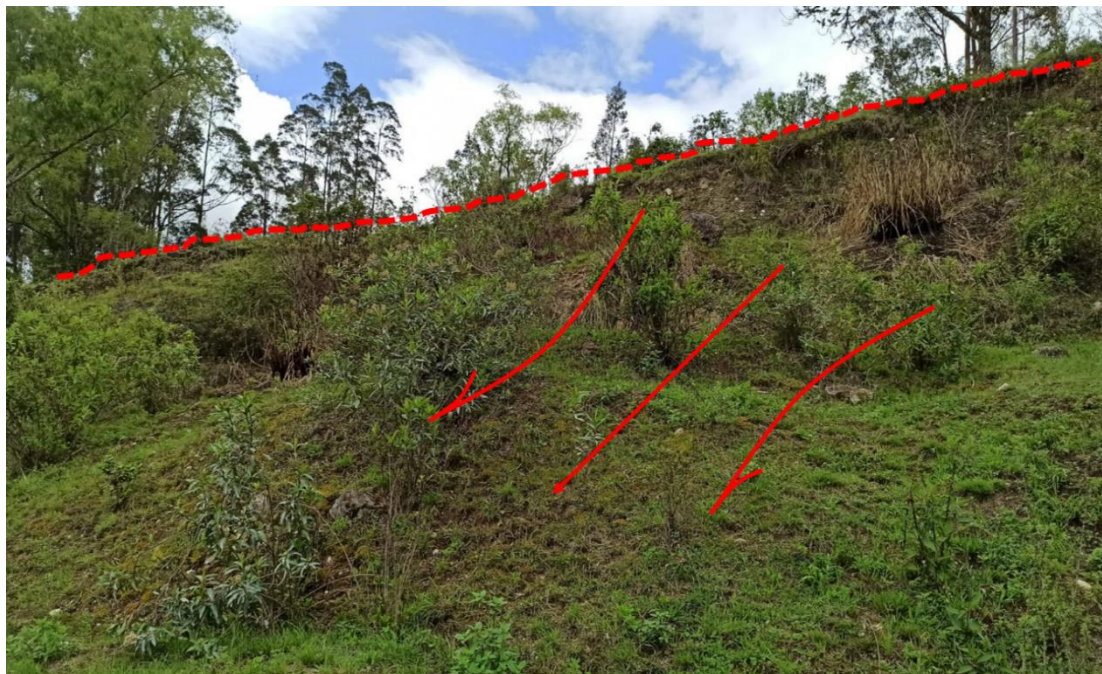
El deslizamiento ha producido la caída de algunos árboles de gran porte, como los eucaliptos (*Eucalyptus*), pues su pérdida de anclaje en el suelo es un indicio de un notable cambio en la cohesión y estabilidad superficial. La zona afectada también presenta agrietamientos significativos y el colapso de las edificaciones, producidos por el movimiento de masas que ha provocado el desplazamiento de las estructuras (ala del pontón). El fenómeno ha afectado incluso a las áreas de cultivo, pues el desplazamiento del terreno ha condicionado el perfil del suelo afectando la fertilidad y la tierra cultivable. También se visualizó un derrumbe activo (figura 49) que está compuesto por material calcáreo lutítico en base a la Formación Celendín.

Figura 49*Vista panorámica del deslizamiento 1(b)*

Nota. Movimiento del deslizamiento hacia la Laguna del Amor y quebrada Potrera.

Figura 48*Vista del deslizamiento 1(a)*

Nota. Movimiento del deslizamiento hacia la Laguna del Amor y quebrada Potrera.

Figura 50*Deslizamiento rotacional N.º 2*

Nota. La masa del deslizamiento se desplaza en dirección suroeste, hacia la quebrada Potrera.

Figura 51*Derrumbe activo en el sector Lagunas*

Nota. Presencia de lutitas Formación Celendín en el derrumbe activo.

Reptaciones

Es un tipo de movimiento sumamente lento y que afecta laderas poco inclinadas, principalmente compuesta por suelos arcillosos con espesores de hasta 50 cm. Este tipo de movimiento está vinculado a las variaciones del contenido de humedad del suelo en las estaciones de invierno, dado que el agua no sólo aumenta el peso de las capas superficiales, también actúa como un agente lubricante y facilita el movimiento de las partículas de arcilla.

La reptación representa un factor de peligrosidad en la zona de estudio, en dirección del deslizamiento siendo las pendientes de las laderas, la vegetación y la compactación del suelo la razón de la reptación, también ejercen una influencia significativa en la dinámica de dichos movimientos lentos. Este tipo de movimiento afectó a áreas de pastizal, cultivos, taludes y sistemas de corte en carreteras, y se manifiesta en terrenos con pendientes de distinto grado, desde suaves o moderadas hasta fuertes (5° , 15° y 25°).

Figura 52

Reptación, con presencia de movimiento lento, con disposición en los árboles



Nota. Árboles de Salix con una inclinación notable.

d) Factores condicionantes

Factor litológico

Los depósitos coluvio-deluviales presentes en el ámbito de estudio se encuentran vinculados con la Formación Celendín. Los depósitos coluvio-deluviales se caracterizan por su heterogeneidad, donde predominan fragmentos angulosos de lutitas y areniscas, que a su vez presentan una matriz arcillosa resultante de la meteorización química y física de las rocas preexistentes, contribuyendo a la plasticidad y cohesión del material.

La distribución de estos depósitos es mayormente uniforme en la zona evaluada, en la que se identifican variaciones en la textura y tamaños de los fragmentos aportando evidencias de un proceso de transporte y acumulación, que pone de manifiesto la acción de factores geomorfológicos, climáticos y pendientes.

Por otro lado, se debe señalar que, en contacto con el agua estos yacimientos tienen una tendencia a la saturación, lo que puede reducir de forma notable la cohesión del material por lo tanto el riesgo de deslizamientos, es decir, la saturación provoca una reducción progresiva de su capacidad resistente al corte, que unida a la gravedad puede dar lugar al fenómeno de deslizamiento de tierra, principalmente en pendientes que son pronunciadas.

Factor geomorfológico

El sector Lagunas se ubica en una superficie con una pendiente promedio que varía de 5° a 15°. Existen sin embargo sectores más empinados, que alcanzan 25° a 45°, ubicados sobre los escarpes de deslizamientos. Las pendientes pronunciadas son las más relevantes, ya que, pueden propiciar la activación de los procesos de deslizamiento dado el caso, específicamente en situaciones de saturación provocadas por lluvias intensas o la actividad sísmica.

Factor hidrogeológico

La retención de agua en la zona de evaluación, está influenciada por la textura y estructura del suelo, en especial las arcillas tienen más capacidad de retener agua al saturarlas,

por lo tanto, aumentan las posibilidades de producirse el deslizamiento de tierra en suelos con mayores pendientes.

Además, se han determinado los afloramientos de agua que se denominan puquiales, que emergen desde las capas freáticas. Esos afloramientos son aquellos que nos indican un nivel freático elevado, contribuyendo significativamente a la saturación del suelo circundante, generando la formación de bofedales.

Es decir, en la zona de evaluación, como resultado del enlace entre la infiltración de agua, la retención del suelo, con los afloramientos de agua y los bofedales, favoreciendo también los riesgos de deslizamientos de la tierra en las viviendas ubicadas en la zona evaluada.

e) Factores detonantes

Precipitaciones pluviales

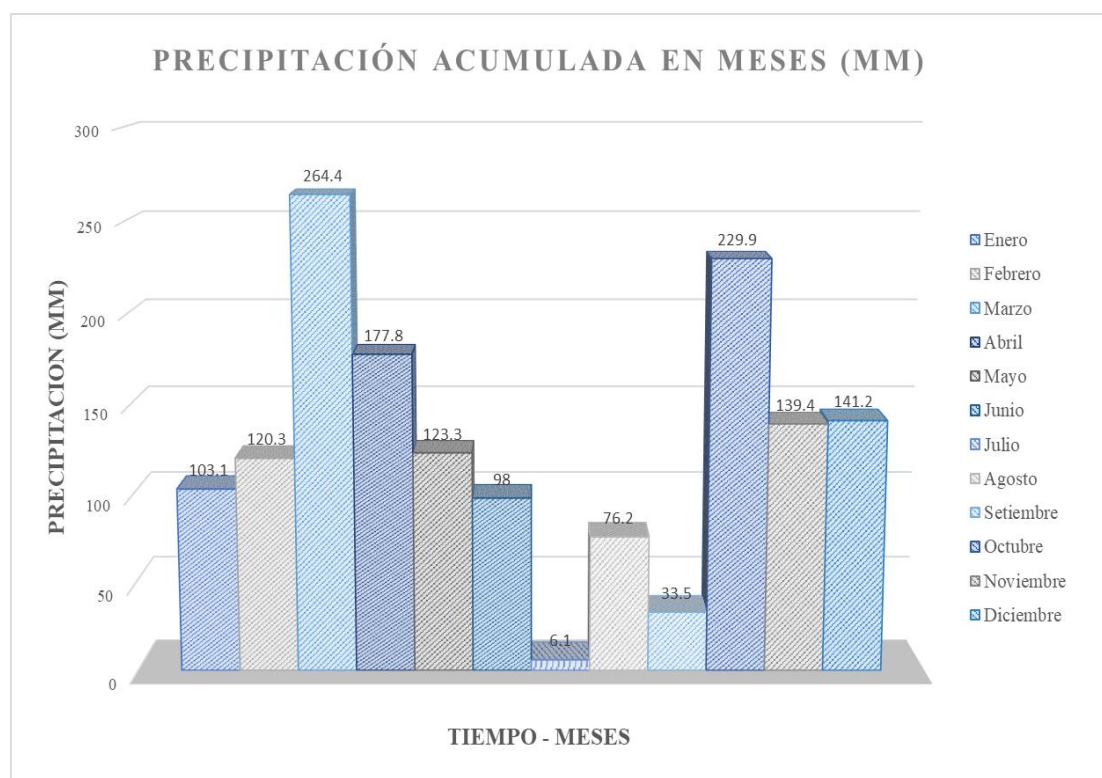
Las precipitaciones que abarcan desde noviembre a abril (figura 53) son las que más inciden en el fenómeno de la infiltración de agua del suelo teniendo en cuenta las grietas naturales del suelo, que favorecen la infiltración del agua en el terreno, además la permeabilidad de los diferentes estratos del mismo. En estos periodos de lluvias prolongadas se consiguen saturaciones muy importantes, las cuales son responsables del incremento del nivel freático, dicho incremento del nivel freático que genera múltiples consecuencias adversas de estabilidad del suelo.

La infiltración de agua que perdura en el tiempo no sólo disminuye el ángulo de fricción interno del suelo, también disminuye la cohesión del mismo. Estas propiedades mecánicas se manifiestan en condiciones favorables para el desplome de la tierra y el peso del suelo saturado se traduce en un aumento de la inestabilidad del terreno; la sobresaturación del mismo, un sistema de riesgo crítico, principalmente cuando las pendientes son muy pronunciadas.

Por lo que la lluvia estacional y su relación con el movimiento del agua también es un interesante factor a tener en cuenta para poder adecuar las condiciones de riesgo por deslizamiento de laderas.

Figura 53

Análisis de precipitaciones en el año 2021: estación Chota.



Nota. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI] (2021).

Puquiales

Se manifiestan puquiales (ojos de agua), con un flujo de agua constante en toda época del año, incluso en épocas de estiaje. Dichos afloramientos de agua se originan a través de las interacciones de los acuíferos con las características del terreno. Por lo tanto, el flujo continuo de agua favorece una notable infiltración en la masa deslizante, originando un encharcamiento progresivo del suelo, lo que provoca una disminución de la cohesión y estabilidad del mismo.

Figura 54

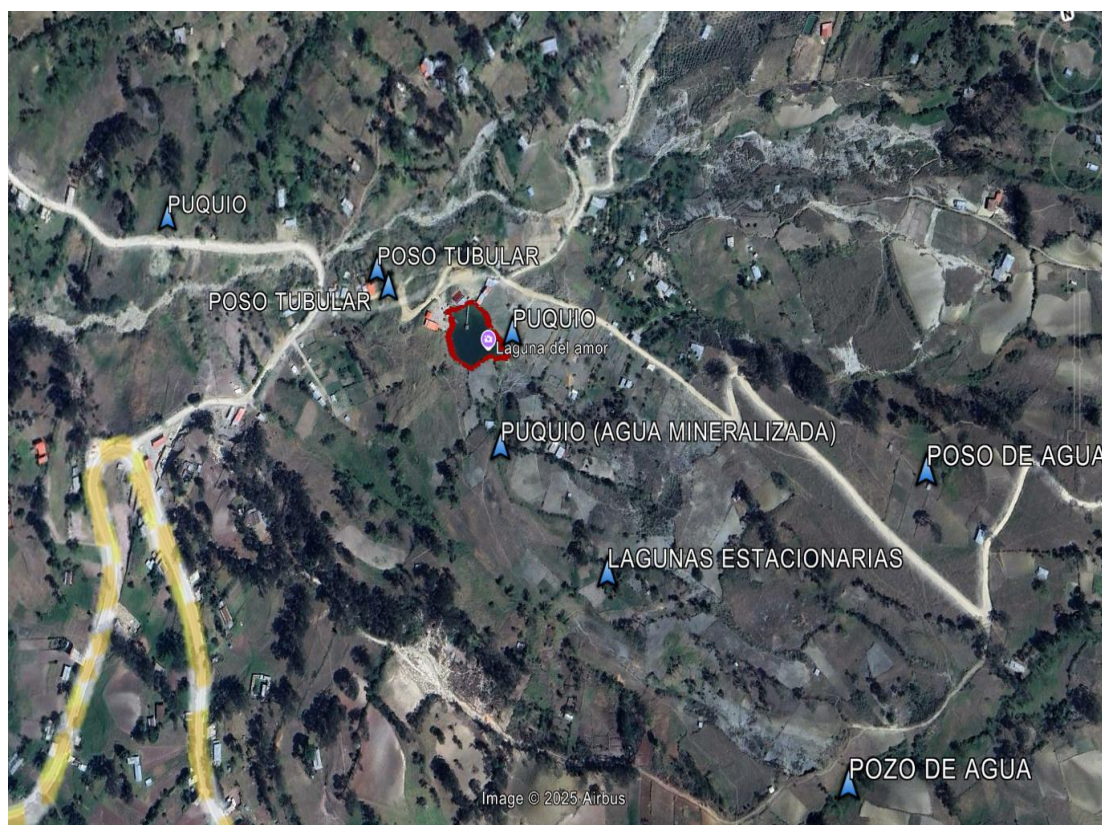
Afloramiento hídrico (puquio), dentro del área de estudio



Nota. Captación de agua mediante pozo tubular a 6 metros aproximadamente.

Figura 55

Mapa de afloramiento de agua en el sector Lagunas



Nota. Afloramiento y presencia de zonas saturadas.

h) Tipos de deslizamientos

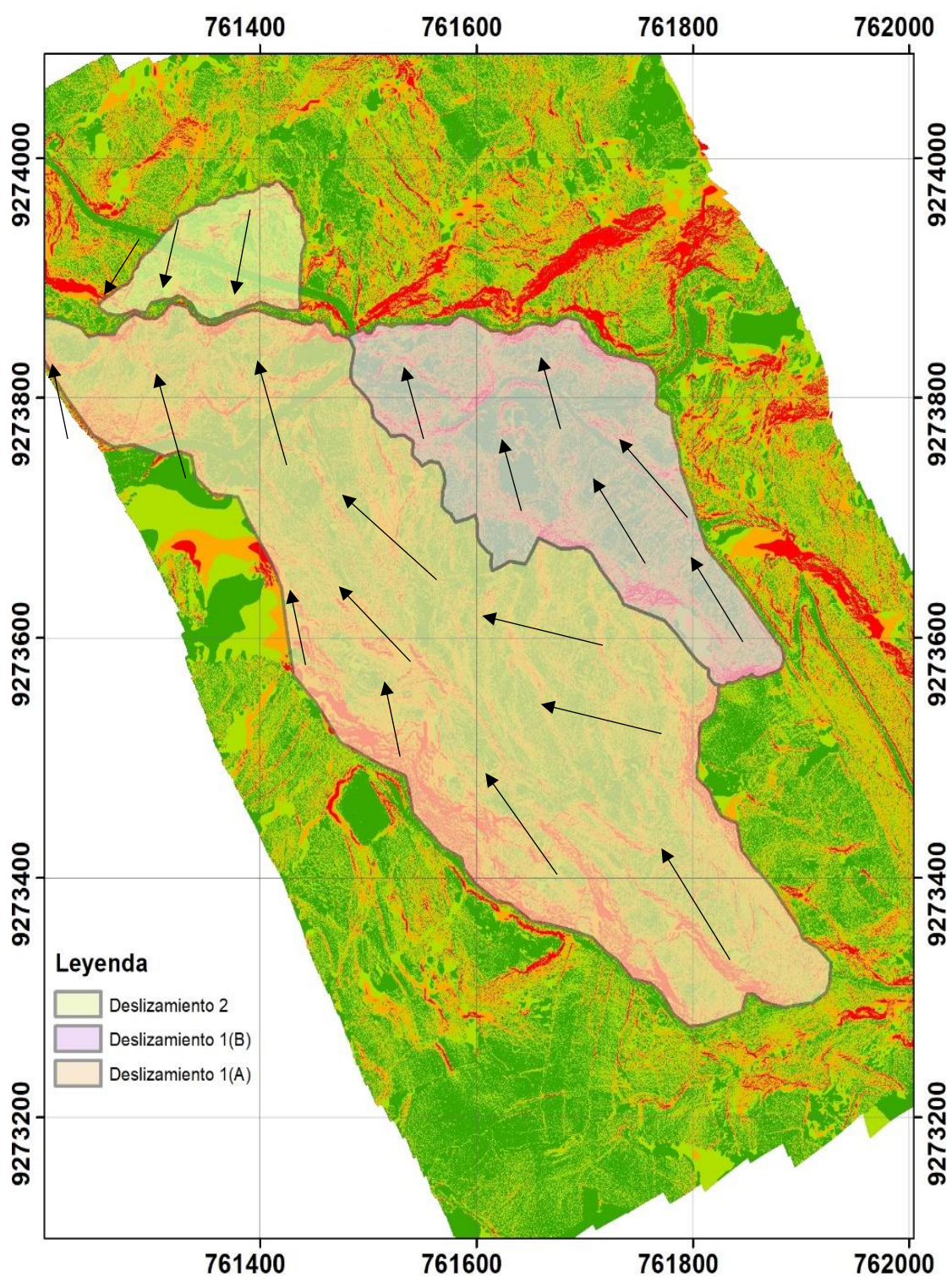
Dentro del marco territorial de la investigación, el denominado, deslizamiento principal o primer deslizamiento, presente en el sector lagunas muestra un desarrollo distinto al previsto desde su activación hace varias décadas atrás (según los pobladores es aproximadamente 50 años), de haber sido un deslizamiento rotacional presenta características de un movimiento de tierras complejo, compuesto por dos deslizamientos rotacionales y una reptación; en cambio, el segundo deslizamiento es rotacional, no presenta ninguna composición extra. Todos y cada uno de los movimientos de tierra del sector lagunas presentan la característica de ser conformado por material lutítico y arcilloso, fáciles de saturar y desestabilizar. Además, su permeabilidad, la generación de bofedales y grietas tensionales, aportan como factores condicionantes del deslizamiento y movimiento de tierras en general. Teniendo las siguientes características:

- **Composición:** fragmentos de lutita y arenisca, con matriz arcillosa.
- **Textura:** mal clasificada, sin estratificación definida y con tamaños de grano variados.
- **Distribución:** zonas de ladera y pie de monte, con mayor acumulación en márgenes de quebradas.
- **Propiedades geotécnicas:** baja capacidad de soporte, alta susceptibilidad a la erosión y a la inestabilidad, especialmente bajo condiciones de saturación.

La manifestación de estos movimientos de tierra implica un riesgo directo a la población del lugar, teniendo la capacidad de romper trochas carrozables, postes de alumbrado público, cultivos, viviendas, árboles, terreno de pastoreo y estancar parte de la quebrada Potrera.

Figura 56

Deslizamientos del sector Lagunas y su dirección



4.1.3 Resultados del ensayo geomagnético-perfiles de detección de frecuencias.

El ensayo MSFCEN es ideal para la detección de estratos de bajo potencial eléctrico (potencial eléctrico - mV), en conjunto con los datos geológicos y geomorfológicos permiten predecir e inducir el tipo de material estratigráfico. Con el ensayo geomagnético (MSFCEN) se observaron perfiles subsuperficiales cuyos contornos representan la elevación de formaciones rocosas y suelo comportándose como almacenador de recurso hídrico (presencia de roca lutita, arcillas intemperizadas, bofedales, lagunas estacionarias y una laguna) o formas geológicas particulares debajo de la superficie, posibles fallas, fracturas y otras estructuras geológicas se muestran claramente.

Los datos de potencial eléctrico obtenidos en el sector Lagunas, correspondientes a los perfiles P01 al P07; se identificaron tres unidades geomagnéticas principales en las secciones analizadas. Los perfiles se caracterizan en la tabla 14, la cual resumen los valores de potencial eléctrico (potencial eléctrico - mV).

Estrato N.º 1: valores de potencial bajo - La posición con tonalidades de azul, indica bajo valor de potencial eléctrico, se concluyó a suelo húmedo. El estrato muestra la presencia de un material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd). Zonas con un suelo húmedo a muy permeable.

Estrato N.º 2: valores de potencial bajo a medio - La posición con tonalidades de celeste a verde - amarillo, indica valor bajo a medio de potencial eléctrico, conformado por una roca sedimentaria. Zonas con un suelo permeable.

Estrato N.º 3: valores de potencial medio - La posición con tonalidades de naranja a rojo, indica valor medio de potencial eléctrico, conformado por una roca sedimentaria. Zonas poco permeables.

El perfil 01, es el de mayor longitud aproximadamente 705 m, que abarcó las tres primeras zonas del deslizamiento, el cual, intersecta en 165 m, 310 m y 485 m a los perfiles dos, tres y cuatro respectivamente. El estrato uno, los valores oscilan de 0.00 hasta 0.05 mV, con espesores que varían desde 90 - 130 m. Igualmente, el estrato dos presenta potencial eléctrico de 0.05 hasta 0.41 mV, y espesores variables de 15 - 80 m. Respecto al tercer estrato la potencial eléctrico es de 0.41 a más.

El perfil 02, presenta mayores discontinuidades, ya que pasó sobre la cresta del deslizamiento 1(B) aproximadamente a 100 metros, además cruza el deslizamiento 1(A). Su extensión es de 357 m, que abarcó la zona uno y parte de la zona dos de los deslizamientos, en cuanto a los resultados de sus potencial eléctrico o potencial eléctrico son los siguientes: el estrato uno, tiene potencial eléctrico que está en los rangos de 0.00 hasta 0.06 mV, y espesores que varían de 20 - 135 m. De la misma forma, el estrato dos, está en los rangos de 0.06 hasta 0.49 mV, además, potencias que varían desde de 20 - 80 m, por último, el estrato tres tiene potencial eléctrico mayores a 0.49 mV.

El perfil 03, es el perfil que contiene la gran acumulación de masa de empuje por parte del deslizamiento rotacional 1(A) como se puede notar en dicho perfil, además se ubican los escarpes de los deslizamientos 1(A) y 1(B); tiene una longitud de 459 m. A partir del análisis se caracterizó en tres estratos principales del perfil: el estrato uno, tiene potencial eléctrico en los rangos de 0.00 hasta 0.09 mV, y espesores que varían de 30 - 135 m. Igualmente, el estrato dos, está en los rangos de 0.09 hasta 0.45 mV, además los espesores varían de 30 - 70 m, por último, el estrato tres, tiene potencial eléctrico mayores a 0.45 mV.

El perfil 04, es la zona de mayor saturación de suelo porque se encuentra cerca de la Laguna del Amor y a los puquios (figura 44). Además, con una extensión de 456 m, el cual se caracteriza en tres estratigrafías. El estrato uno, tiene potencial eléctrico que se encuentra en los rangos de 0.00 hasta 0.06 mV, los espesores varían de 30 - 120 m. En el análisis del estrato

dos, está dentro del potencial eléctrico de 0.06 hasta 0.40 mV, y espesores que varían de 70 m a 90 m. Por último, estrato tres tiene potencial eléctrico a 0.40 mV.

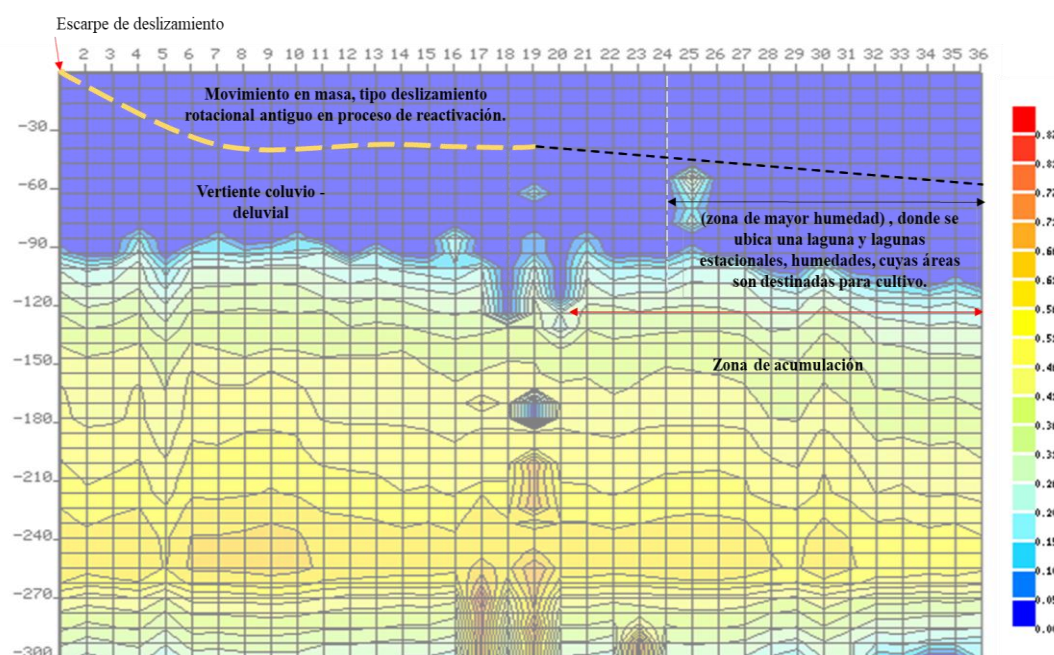
El perfil 05, se ubica debajo de un derrumbe activo, dicho perfil tiene una longitud de 90 m, el cual, se clasifica en tres estratigrafías. El estrato uno se caracteriza por sus conductividades electromagnéticas de 0.00 hasta 0.10 mV, las potencias varían de 18 - 45 m; asimismo el estrato dos, su conductividad varía entre los rangos 0.10 hasta 0.50 mV, con espesores que varían de 70 - 90 m. Finalmente, el estrato tres, tiene potencial eléctrico mayores a 0.50 mV.

El perfil 06, se ubica en el deslizamiento rotacional dos, el cual tiene mayores potenciales eléctricos que los deslizamientos 1(A) y 1(B); cuenta con una extensión de 150 m, se clasifica en tres estratigrafías, en su estratigrafía se identificó rocas lutitas, vertiente coluvio deluvial, Formación Celendín, se clasifica en tres estratos. El estrato uno se caracteriza por las conductividades electromagnéticas de 0.16 hasta 0.36 mV, con espesores que varían de 10 - 20 m, asimismo el estrato dos presentó rangos 0.36 hasta 0.52 mV, y espesores que varían de 150 - 200 m. Finalmente, el estrato tres el potencial eléctrico es superior a 0.52 mV.

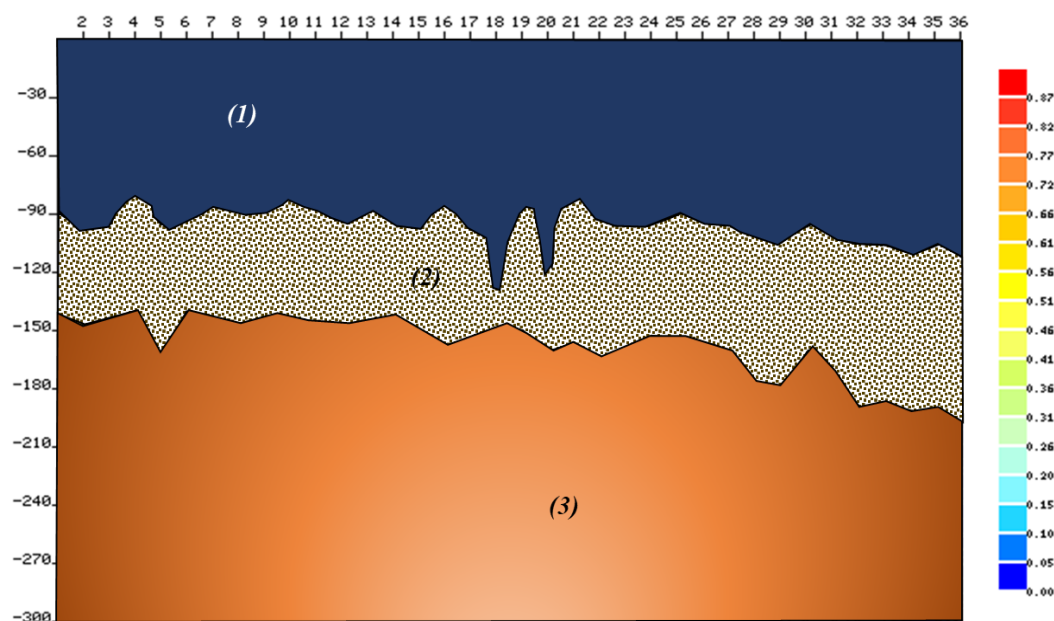
El perfil 07 se ubica en el deslizamiento rotacional dos, el cual tiene mayores potenciales eléctricos que los deslizamientos 1(A) y 1(B). El perfil cuenta con una longitud de 120 m se clasifica en tres estratigrafías, en su estratigrafía se encuentra rocas lutitas, vertiente coluvio deluvial, Formación Celendín, se clasifica en tres estratos. El estrato uno las conductividades electromagnéticas varían de 0.11 hasta 0.33 mV, y espesores de 30 - 60 m, asimismo el estrato dos, los rangos son de 0.33 hasta 0.41 mV, además, los espesores varían de 95 - 175 m. Finalmente, el estrato tres, las conductividades son mayores a 0.41 mV.

Figura 57

Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 01



(a)

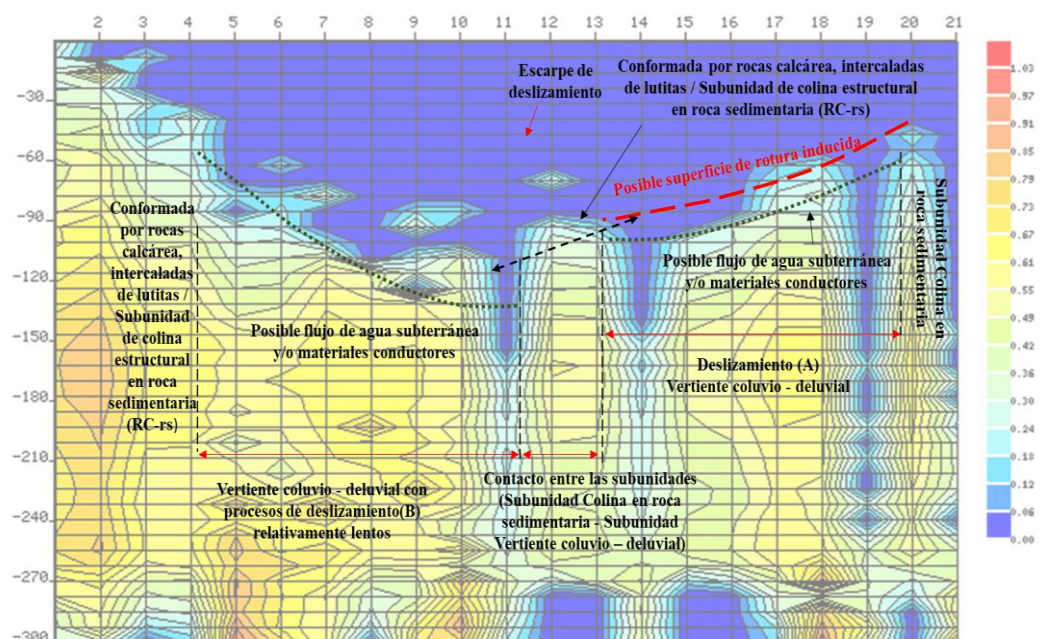


(b)

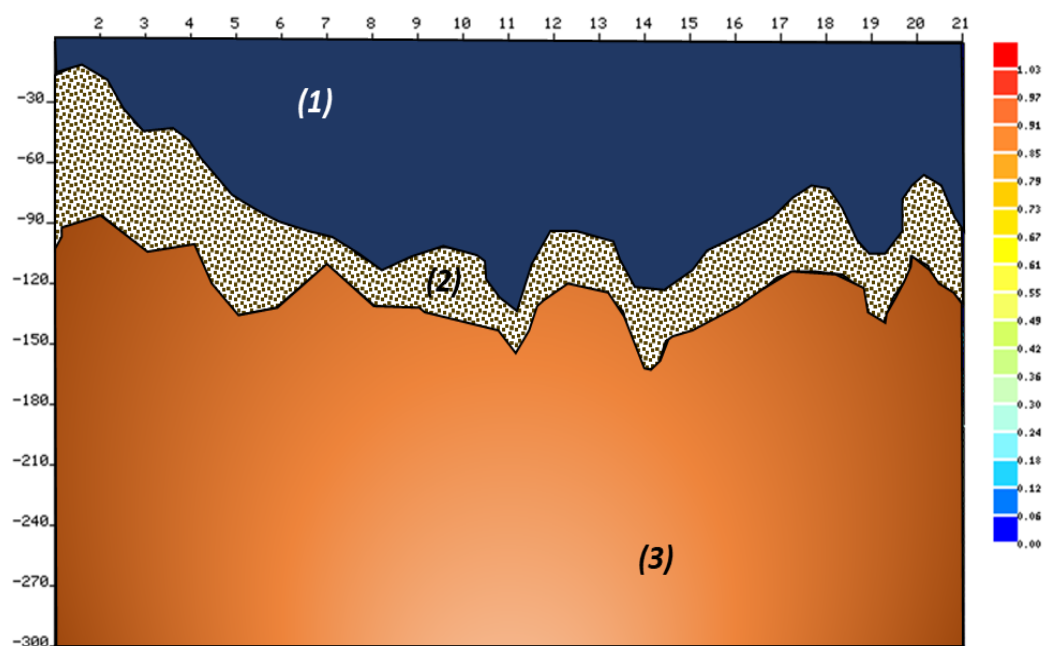
Nota. (a) procesamiento del método de selección de frecuencias Perfil 01, (b) interpretación del método de selección de frecuencias.

Figura 58

Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 02



(a)

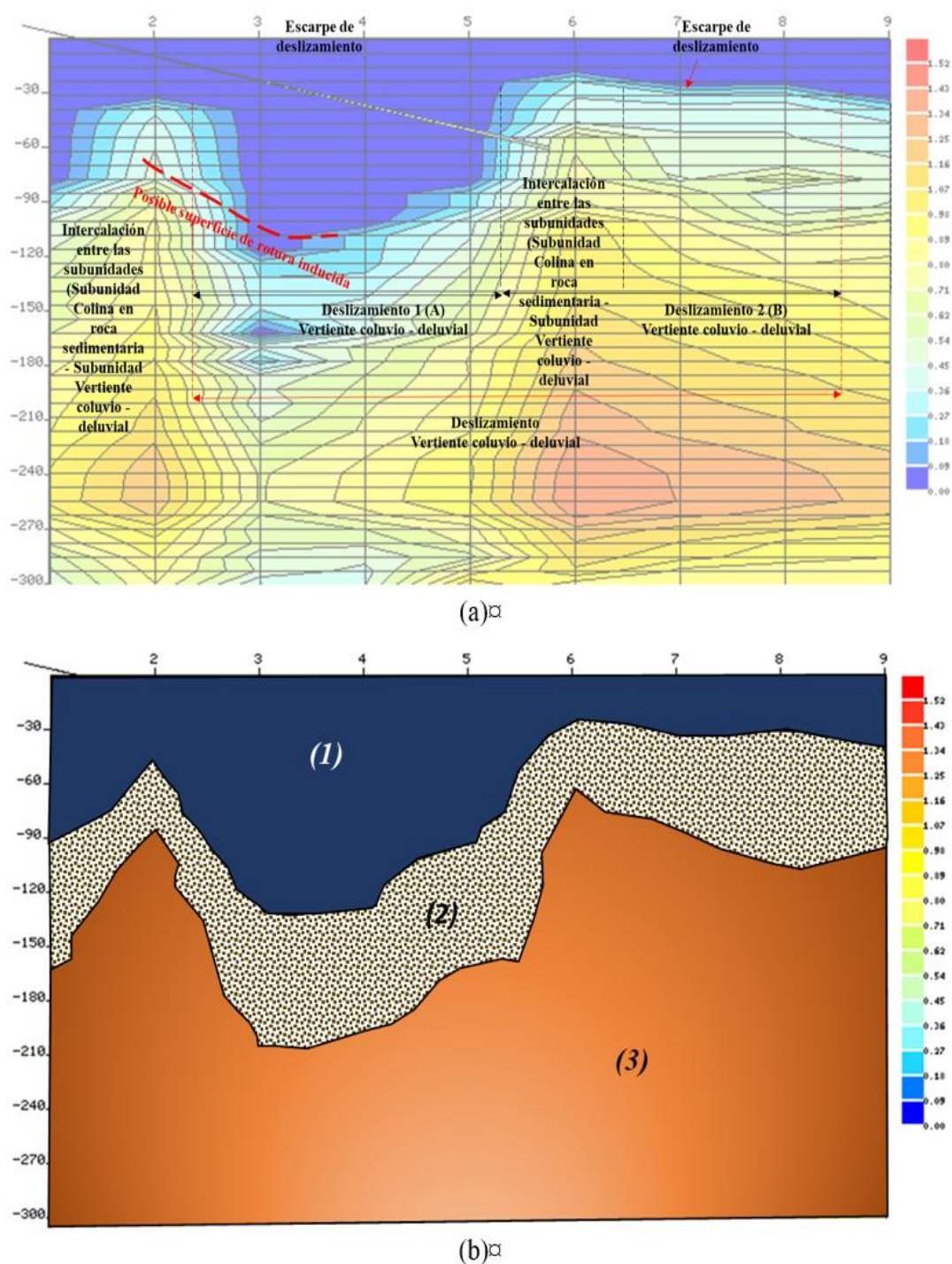


(b)

Nota. (a) procesamiento del método de selección de frecuencias Perfil 02, (b) interpretación del método de selección de frecuencias.

Figura 59

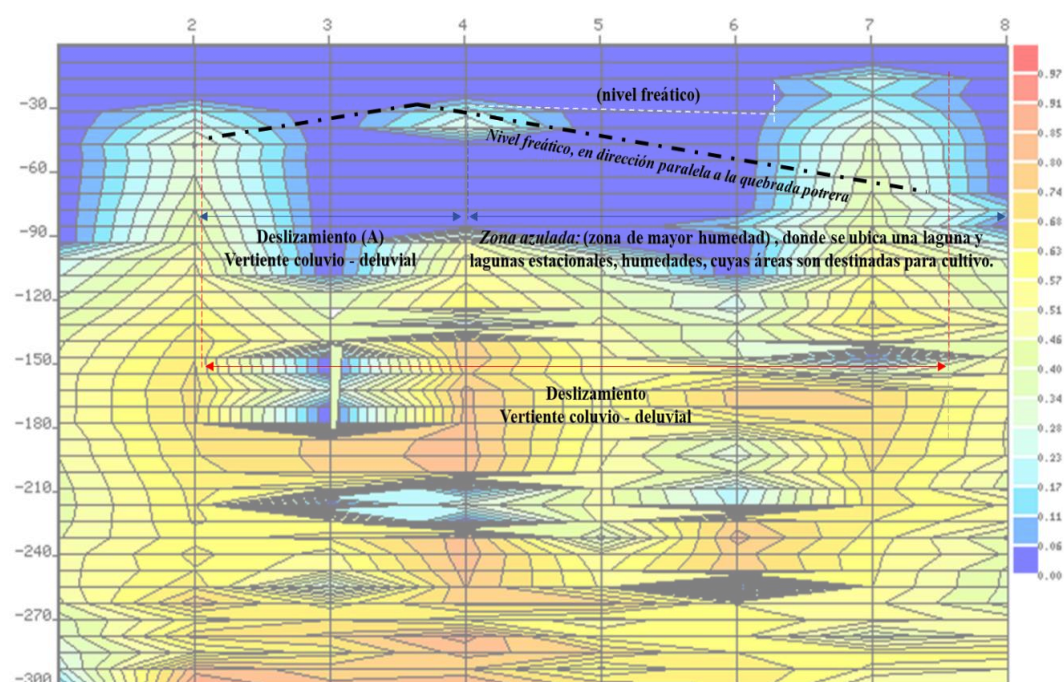
Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 03



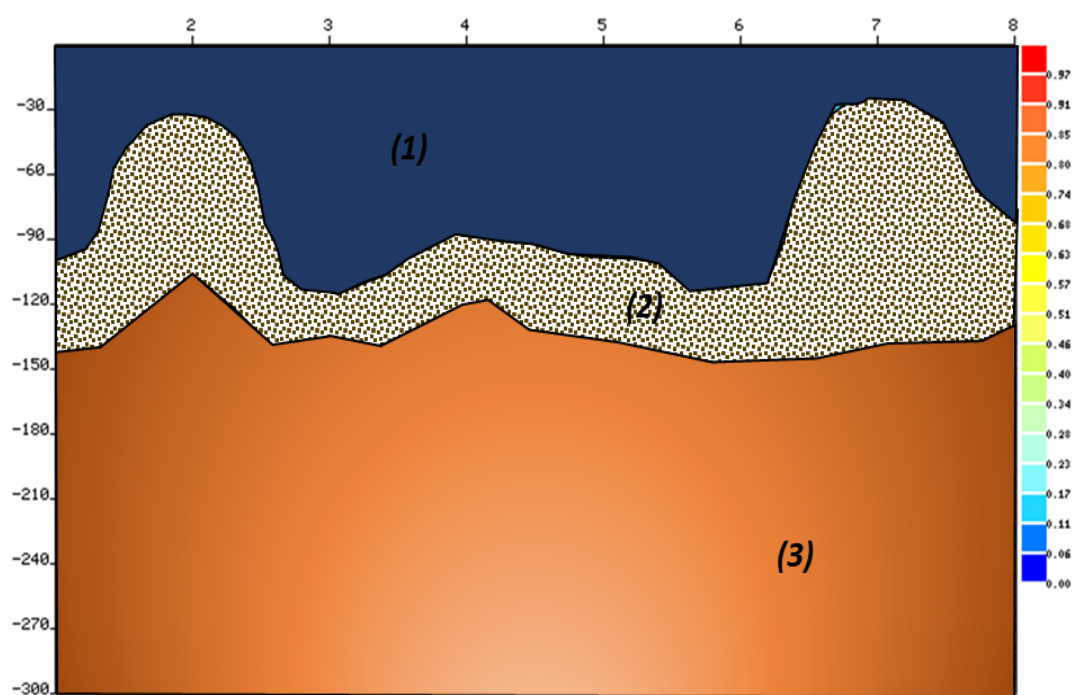
Nota. (a) procesamiento del método de selección de frecuencias Perfil 03, (b) interpretación del método de selección de frecuencias.

Figura 60

Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 04



(a)

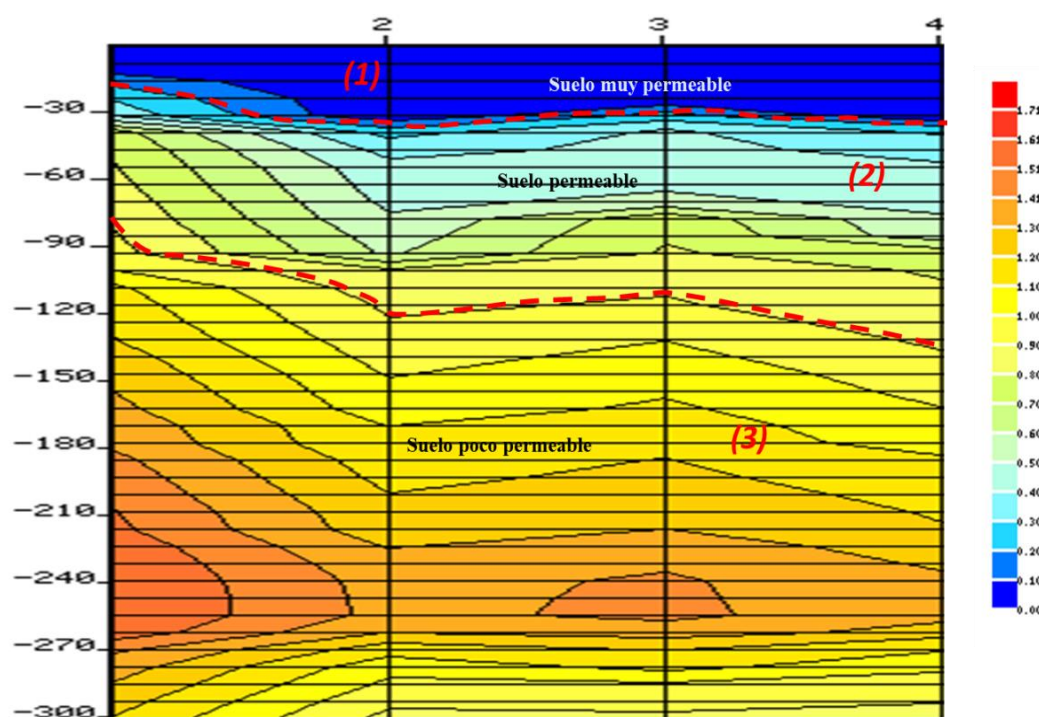


(b)

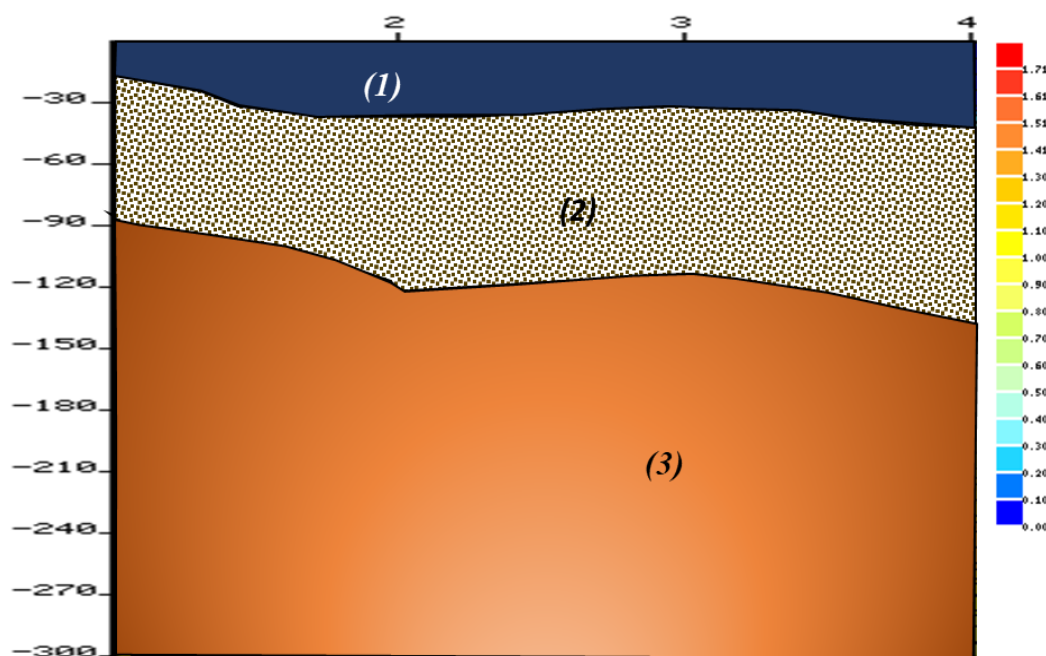
Nota. (a) procesamiento del método de selección de frecuencias Perfil 04, (b) interpretación del método de selección de frecuencias.

Figura 61

Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 05



(a)

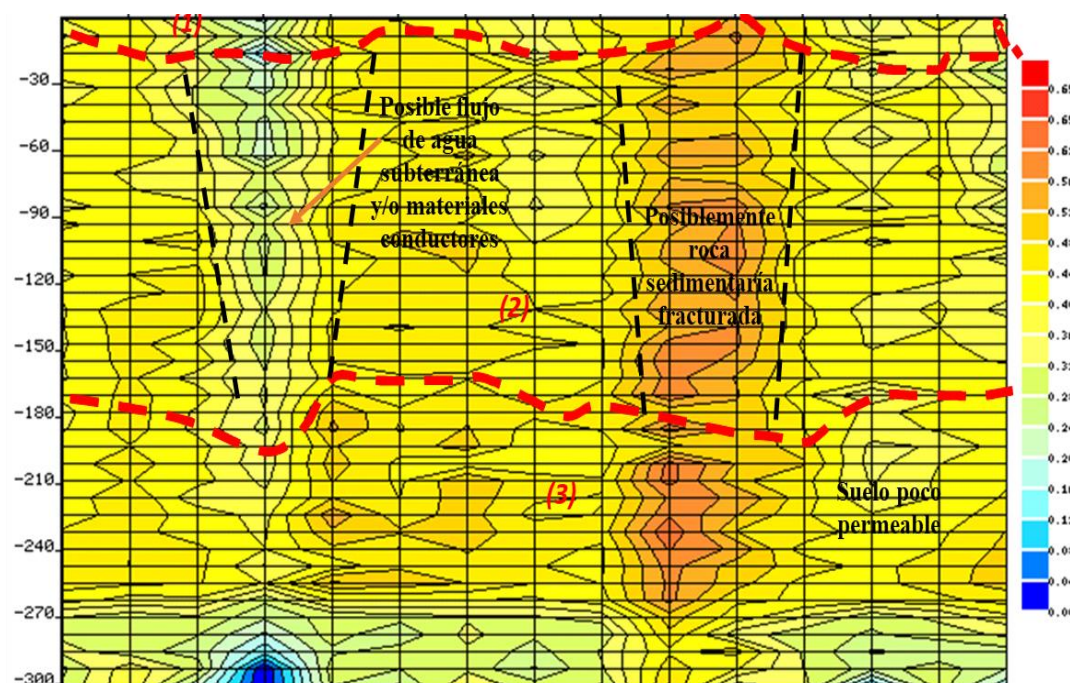


(b)

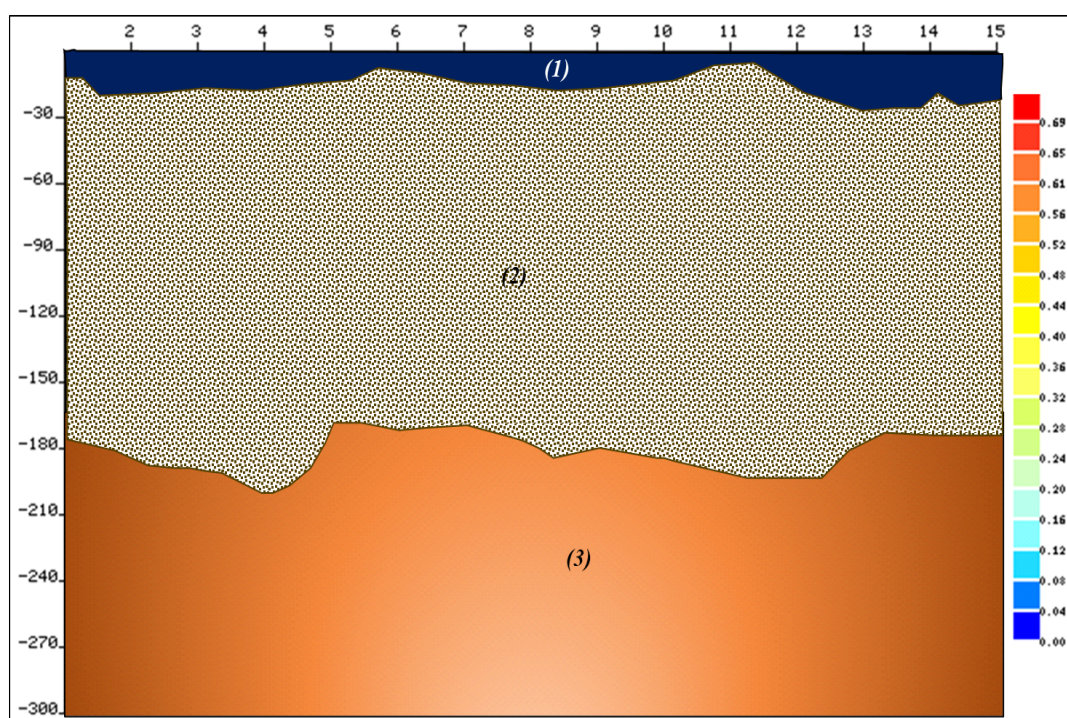
Nota. (a) procesamiento del método de selección de frecuencias Perfil 05, (b) interpretación del método de selección de frecuencias.

Figura 62

Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 06



(a)

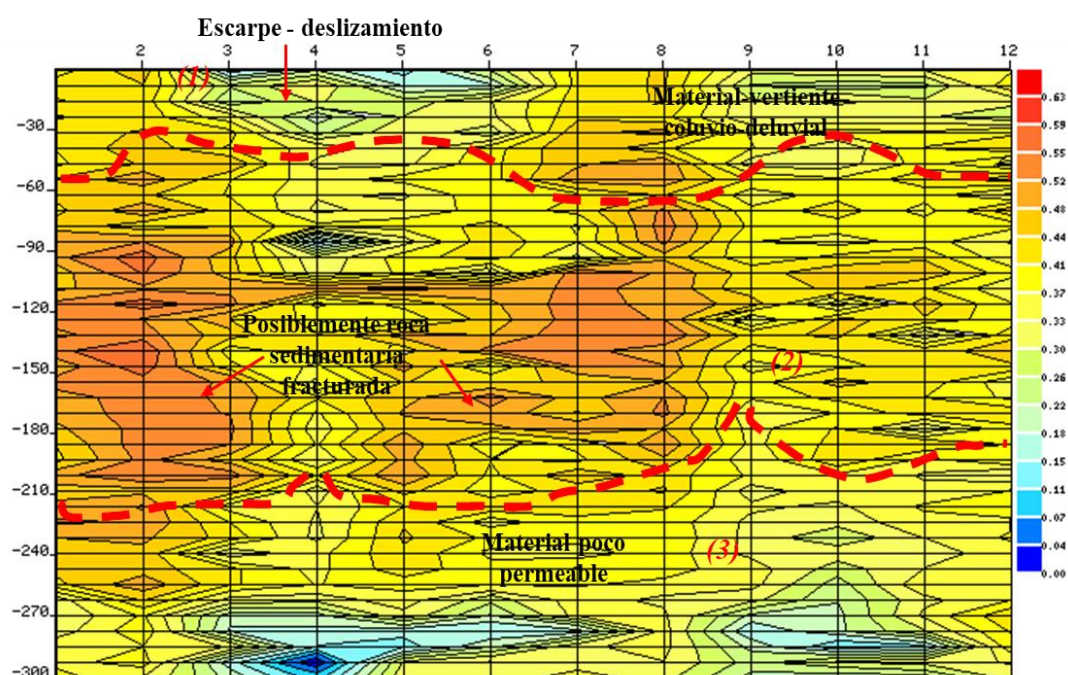


(b)

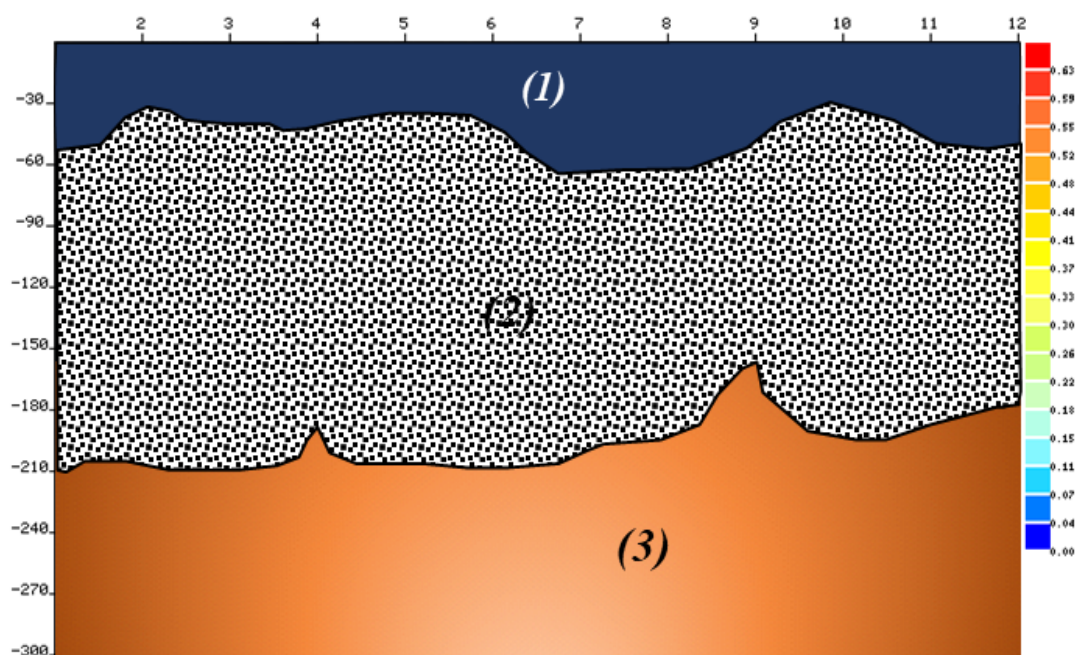
Nota. (a) procesamiento del método de selección de frecuencias Perfil 06, (b) interpretación del método de selección de frecuencias.

Figura 63

Descripción e interpretación del perfil - ensayo MSFCEN 07



(a)



(b)

Nota. (a) procesamiento del método de selección de frecuencias Perfil 07, (b) interpretación del método de selección de frecuencias.

Tabla 14*Muestra los valores resumidos del ensayo MSFCEN*

<i>Zona</i>	<i>Ensayo</i>	<i>unidad geo eléctrica</i>	<i>Espesor aproximado (m)</i>	<i>Potencial eléctrico (mV)</i>
1-2-3	MSFCEN- 01	1*	90 - 130	0.00– 0.05
		2**	15 - 80	0.05 – 0.41
		3***	-	0.41 - a más
1	MSFCEN- 02	1*	20 - 135	0.00– 0.06
		2**	20 - 80	0.06 – 0.49
		3***	-	0.49 – a más
2	MSFCEN- 03	1*	30 - 135	0.00– 0.09
		2**	30 - 70	0.09 – 0.45
		3***	-	0.45 - a más
3	MSFCEN- 04	1*	30 - 120	0.00– 0.06
		2**	25 - 110	0.06 – 0.40
		3***	-	0.40 – a más
4	MSFCEN- 05	1*	18 - 45	0.00– 0.10
		2**	70 - 90	0.10 – 0.50
		3***	-	0.50 – a más
4	MSFCEN- 06	1*	10 - 20	0.16– 0.36
		2**	150 - 200	0.36 – 0.52
		3***	-	0.52 – a más
	MSFCEN- 07	1*	30 - 60	0.11 – 0.33
		2**	95 -175	0.33 – 0.41
		3***	-	0.41 – a más

Nota. (1*) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd). Suelo húmedo, muy permeable. (2**) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas. Suelo permeable. (3***) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas. Suelo poco permeable.

4.1.4 Resultado de los perfiles de la estratigrafía sísmica

a) Resultados del ensayo de LRS

La información obtenida mediante el método de refracción sísmica, fue organizada en tablas, lo que favorece una mejor interpretación y análisis de los perfiles sísmicos de Vp, con velocidades que oscilan aproximadamente 300 m/s (mínima) y 3149 m/s (máxima). Los datos de velocidades primarias (Vp) obtenidos en el sector Lagunas, correspondientes a los perfiles LRS-01 hasta la LRS-11; se identificaron tres unidades con velocidades sísmicas principales en las secciones analizadas según la norma ASTM D5777. Los valores representativos se resumen en la Tabla 26.

Estrato N.º 1: la posición con tonalidades de rojo a rosa seca, indica velocidades primarias (Vp) clasificadas como suelos meteorizados. Finalmente, muestra la presencia de material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), con intercalación de arcillas y pequeños fragmentos líticos de arenisca, de compacidad rígida.

Estrato N.º 2: la posición con tonalidades de naranja a amarillo, indica velocidades primarias (Vp), clasificadas como arena saturada. Finalmente, se caracterizó un material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.

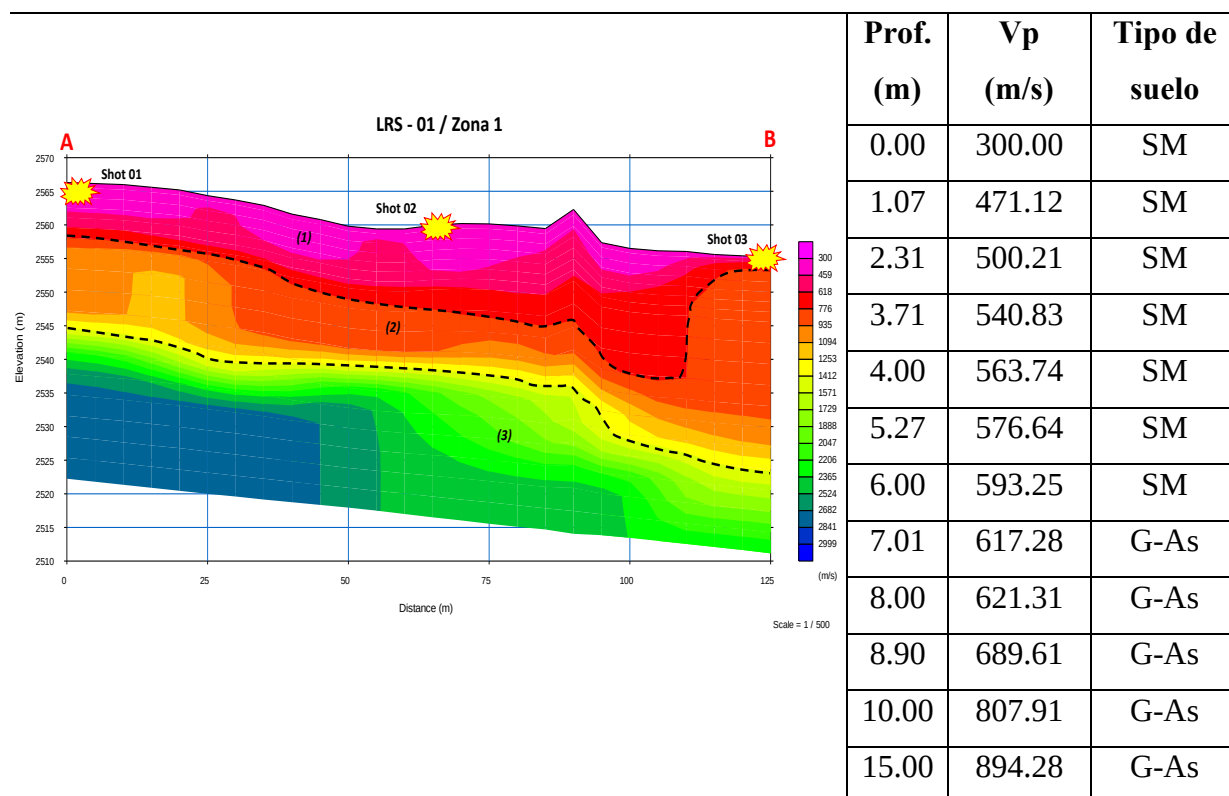
Estrato N.º 3: la posición con tonalidades de verde oscuro a azul, indica velocidades primarias (Vp), clasificadas como, areniscas, calizas o arcilla saturada. Finalmente, se caracterizó un material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Zona 1: se analizaron los tres primeros ensayos sísmicos (LRS-01, LRS-02 y LRS-03) respecto a las velocidades primarias. En el ensayo LRS-01, el primer estrato presentó espesores que varían de 1.6 - 18.9 m, con velocidades primarias de 300 hasta 776 m/s; asimismo, los espesores del segundo estrato varían de 7.5 - 30.2 m, registró valores de 776 hasta 1412 m/s; mientras que, el tercer estrato de espesor variable, alcanzó velocidades de 1412 hasta 2999 m/s. En el ensayo LRS-02, el primer estrato tiene una potencia de 1.1 - 9.0 m, con velocidades de 300 hasta 732 m/s; asimismo, el segundo estrato varía de 2.0 - 21.4 m, presentó velocidades de 732 hasta 1451 m/s; a su vez, el tercer estrato de espesor variable, osciló entre 1451 y 2745 m/s. Finalmente, en el ensayo LRS-03, el primer estrato se encontró entre 1.1 - 7.9 m, con velocidades de 300 hasta 696 m/s; en cuanto al segundo estrato con espesores desde 2.0 - 22.1 m, mostró valores de 696 hasta 1488 m/s; del mismo modo, el tercer estrato de espesor variable, registró velocidades de 1488 hasta 2543 m/s.

Zona 2: se analizaron los tres siguientes ensayos sísmicos (LRS-04, LRS-05 y LRS-06) respecto a las velocidades primarias. En el ensayo LRS-04, el primer estrato presentó espesores que varían de 5.1 - 7.1 m, con velocidades primarias de 300 hasta 780 m/s; asimismo, los espesores del segundo estrato varían de 13.0 - 20.9 m, registró valores de 780 hasta 1420 m/s; mientras que, el tercer estrato de espesor variable, alcanzó velocidades de 1420 hasta 2860 m/s. En el ensayo LRS-05, el primer estrato tiene una potencia de 7.5 - 13.0 m, con velocidades de 300 hasta 759 m/s; asimismo, el segundo estrato varía de 8.1 - 14.5 m, presentó velocidades de 759 hasta 1371 m/s; a su vez, el tercer estrato de espesor variable, osciló entre 1371 hasta 2900 m/s. Finalmente, en el ensayo LRS-06, el primer estrato se encontró entre 8.0 - 9.1 m, con velocidades de 300 hasta 713 m/s; en cuanto al segundo estrato con espesores desde 11.1 - 14.5 m, mostró valores de 713 hasta 1401 m/s; del mismo modo, el tercer estrato de espesor variable, registró velocidades de 1401 hasta 2639 m/s.

Zona 3: se analizaron los tres siguientes ensayos sísmicos (LRS-07, LRS-08 y LRS-09) respecto a las velocidades primarias. En el ensayo LRS-07, el primer estrato presentó espesores que varían de 1.5 - 7.1 m, con velocidades primarias de 300 hasta 721 m/s; asimismo, los espesores del segundo estrato varían de 5.1 - 13.9 m, registró valores de 721 hasta 1423 m/s; mientras que, el tercer estrato de espesor variable, alcanzó velocidades de 1423 hasta 2686 m/s. En el ensayo LRS-08, el primer estrato tiene una potencia de 2.1 - 10.9 m, con velocidades de 300 hasta 803 m/s; asimismo, el segundo estrato varía de 6.2 - 25.0 m, presentó velocidades de 803 hasta 1473 m/s; a su vez, el tercer estrato de espesor variable, osciló entre 1473 hasta 3149 m/s. Finalmente, en el ensayo LRS-09, el primer estrato se encontró entre 9.5 - 13.6 m, con velocidades de 300 hasta 768 m/s; en cuanto al segundo estrato con espesores desde 7.4 - 12.5 m, mostró valores de 768 hasta 1392 m/s; del mismo modo, el tercer estrato de espesor variable, registró velocidades de 1392 hasta 2952 m/s.

Zona 4: se analizaron los dos últimos ensayos sísmicos (LRS-10, LRS-11) respecto a las velocidades primarias. En el ensayo LRS-10, el primer estrato presentó espesores que varían de 1.0 - 3.0 m, con velocidades primarias de 376 hasta 896 m/s; asimismo, los espesores del segundo estrato varían de 7.0 - 20.0 m, registró valores de 896 hasta 2456 m/s; mientras que, el tercer estrato de espesor variable, alcanzó velocidades de 2456 hasta 3149 m/s. En el ensayo LRS-11, el primer estrato tiene una potencia de 2.0 - 3.0 m, con velocidades de 301 hasta 804 m/s; asimismo, el segundo estrato varía de 10.0 - 14.0 m, presentó velocidades de 804 hasta 2480 m/s; a su vez, el tercer estrato de espesor variable, osciló entre 2480 hasta 3149 m/s.

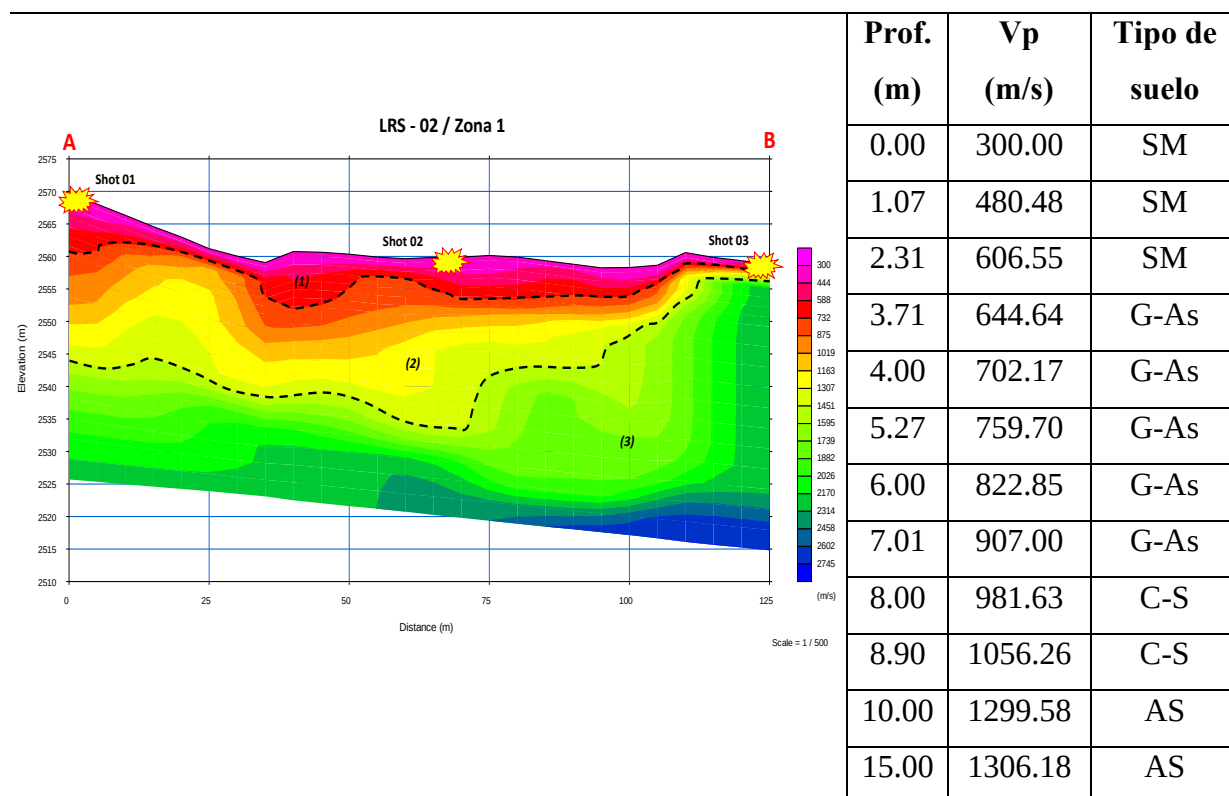
Tabla 15
Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-01/Zona 1

Clasificación inferida del suelo según ASTM D5777

Onda sísmica	Velocidades primarias	Colores	Características del suelo inferido
P	Vp1 = 300.00 - 776.00	➡	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vp2 = 776.00 - 1412.0	➡	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vp3 = 1412.00 a más	➡	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. Se consideró como: suelo meteorizado (SM), grava o arena seca (G-As), arena saturada (AS) y arcilla saturada (C-S).

Tabla 16

Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-02/Zona 1



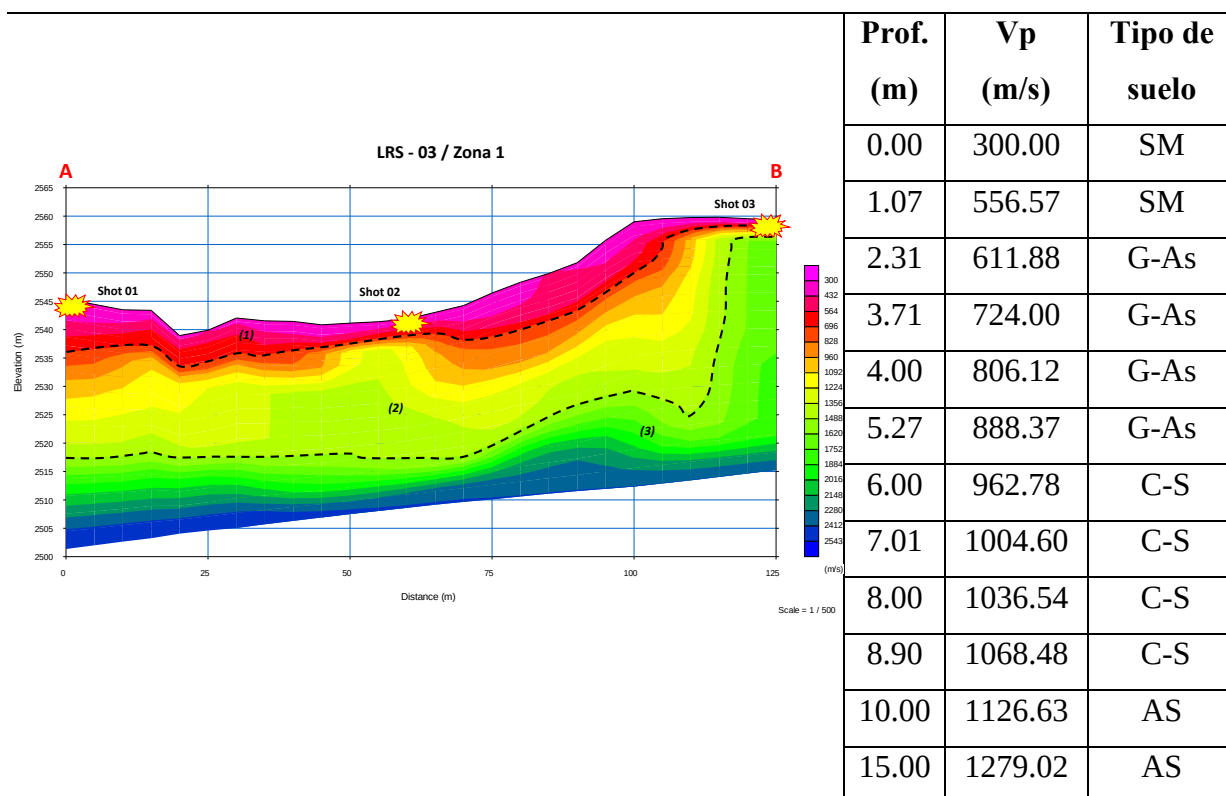
Clasificación inferida del suelo según ASTM D5777

Onda sísmica	Velocidades primarias	Colores	Características del suelo inferido
P	Vp1 = 300.00 - 732.00	➡	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vp2 = 732.00 - 1451.0	➡	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vp3 = 1451.00 a más	➡	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. Se consideró como: suelo meteorizado (SM), grava o arena seca (G-As), arena saturada (AS) y arcilla saturada (C-S).

Tabla 17

Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-03/Zona 1



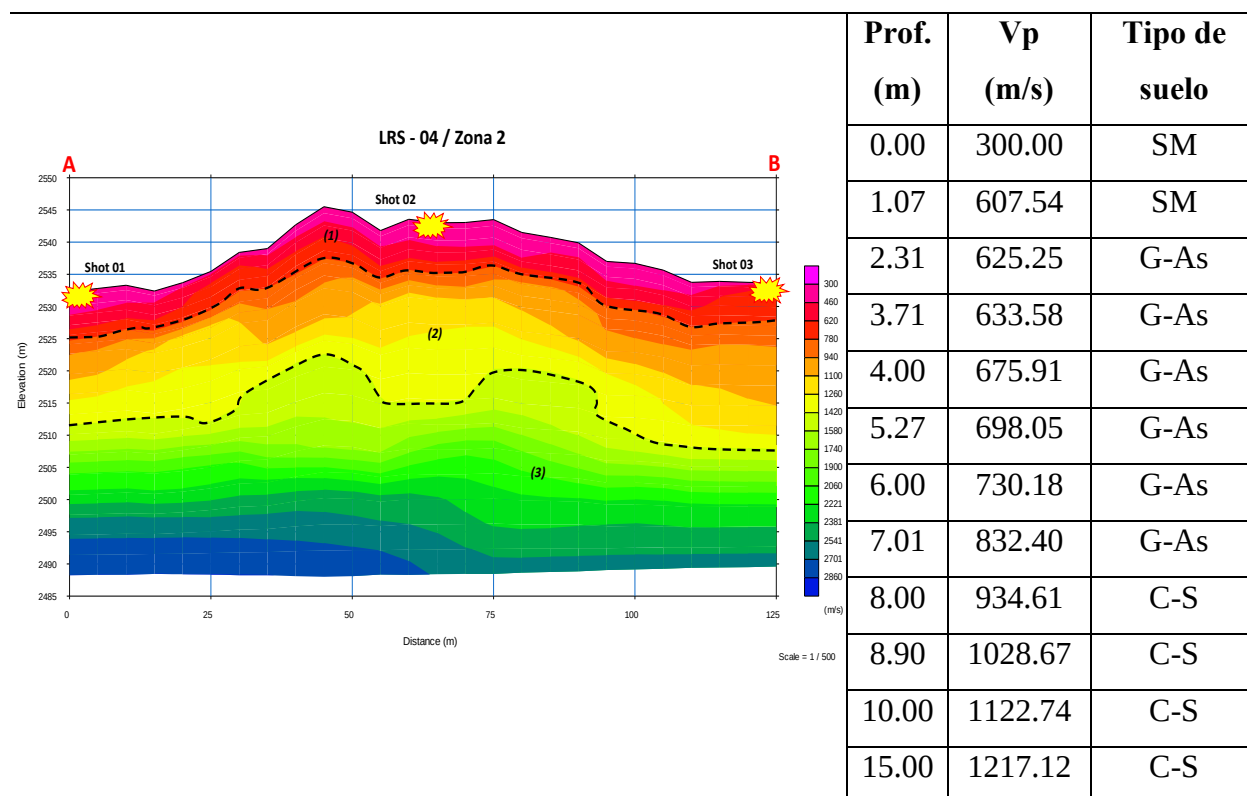
Clasificación inferida del suelo según ASTM D5777

Onda sísmica	Velocidades primarias	Colores	Características del suelo inferido
P	Vp1 = 300.00 - 696.00		(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vp2 = 696.00 - 1488.0		(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vp3 = 1488.00 a más		(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. Se consideró como: suelo meteorizado (SM), grava o arena seca (G-As), arena saturada (AS) y arcilla saturada (C-S).

Tabla 18

Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-04/Zona 2



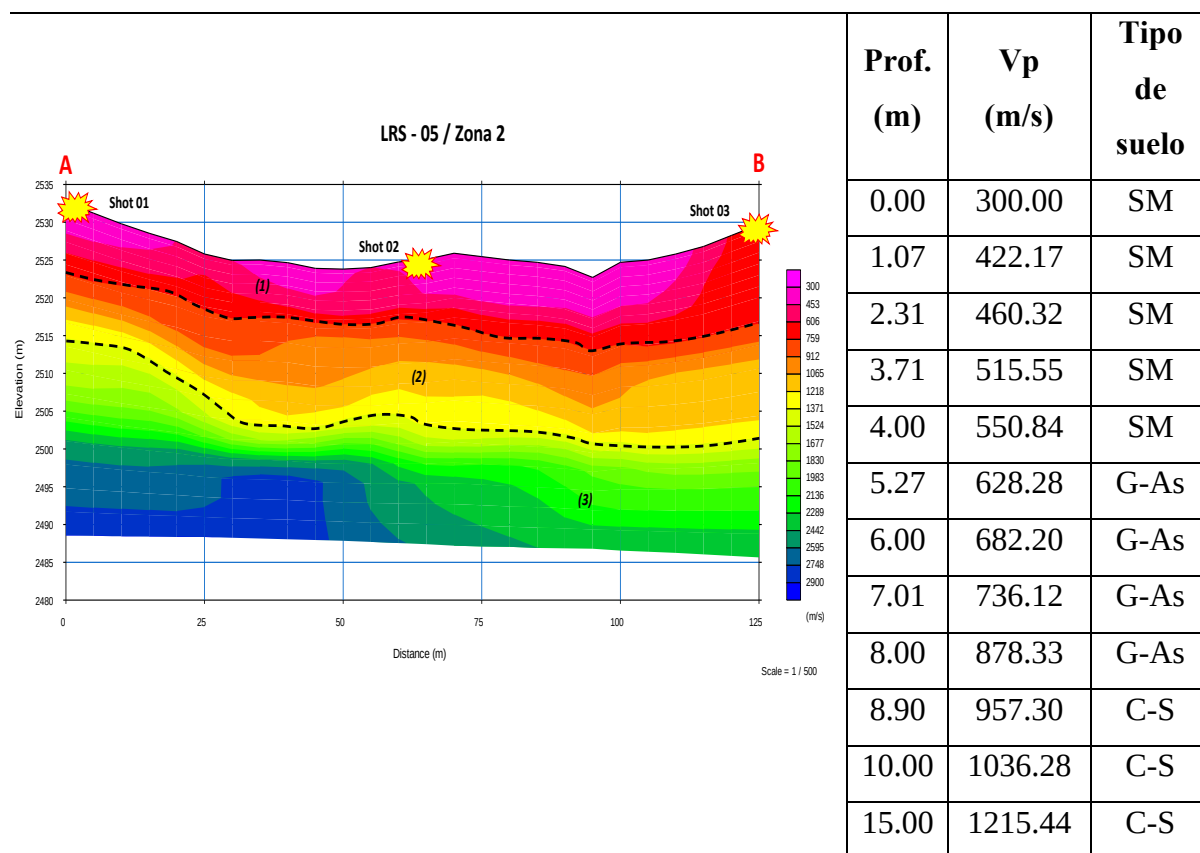
Clasificación inferida del suelo según ASTM D5777

Onda sísmica	Velocidades primarias	Colores	Características del suelo inferido
P	Vp1 = 300.00 - 780.00		(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vp2 = 780.00 - 1420.0		(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vp3 = 1420.00 a más		(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. Se consideró como: suelo meteorizado (SM), grava o arena seca (G-As), arena saturada (AS) y arcilla saturada (C-S).

Tabla 19

Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-05/Zona 2



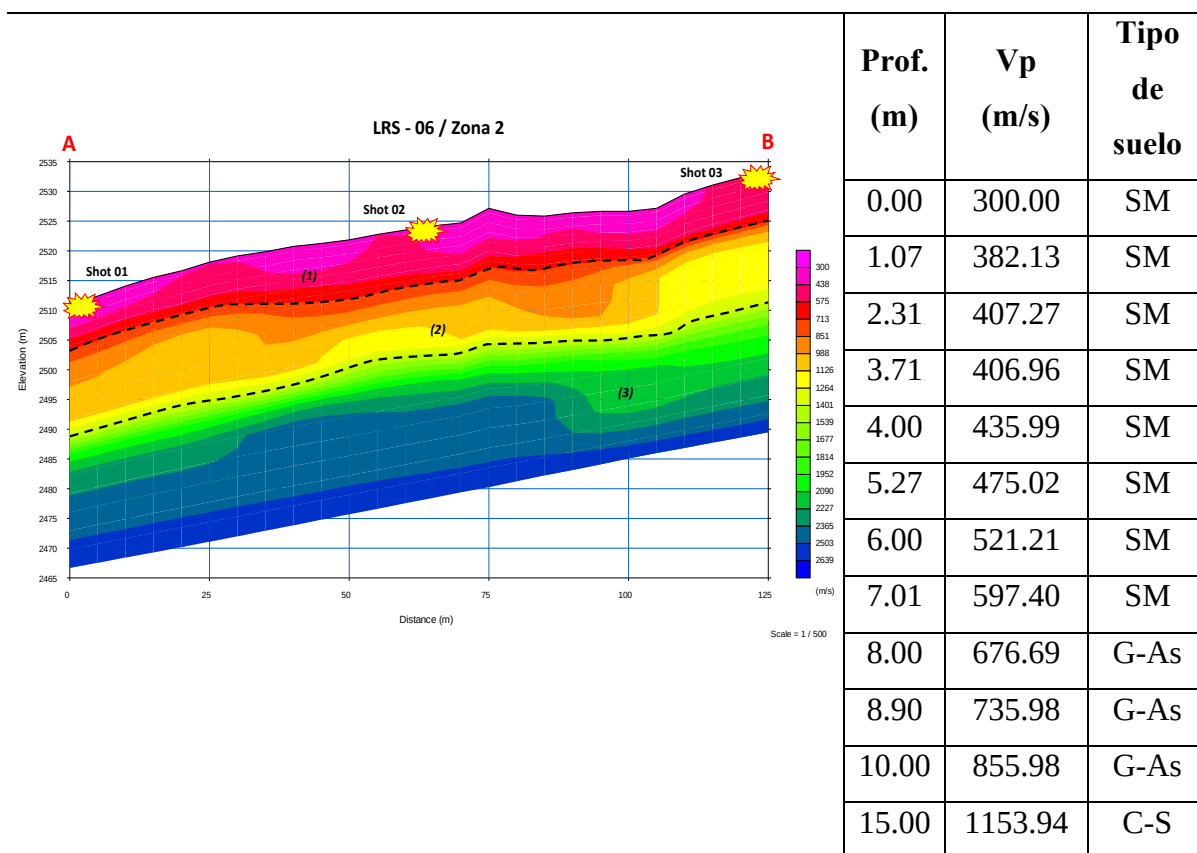
Clasificación inferida del suelo según ASTM D5777

Onda sísmica	Velocidades primarias	Colores	Características del suelo inferido
P	Vp1 = 300.00 - 759.00		(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vp2 = 759.00 - 1371.0		(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vp3 = 1371.00 a más		(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. Se consideró como: suelo meteorizado (SM), grava o arena seca (G-As), arena saturada (AS) y arcilla saturada (C-S).

Tabla 20

Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-06/Zona 2



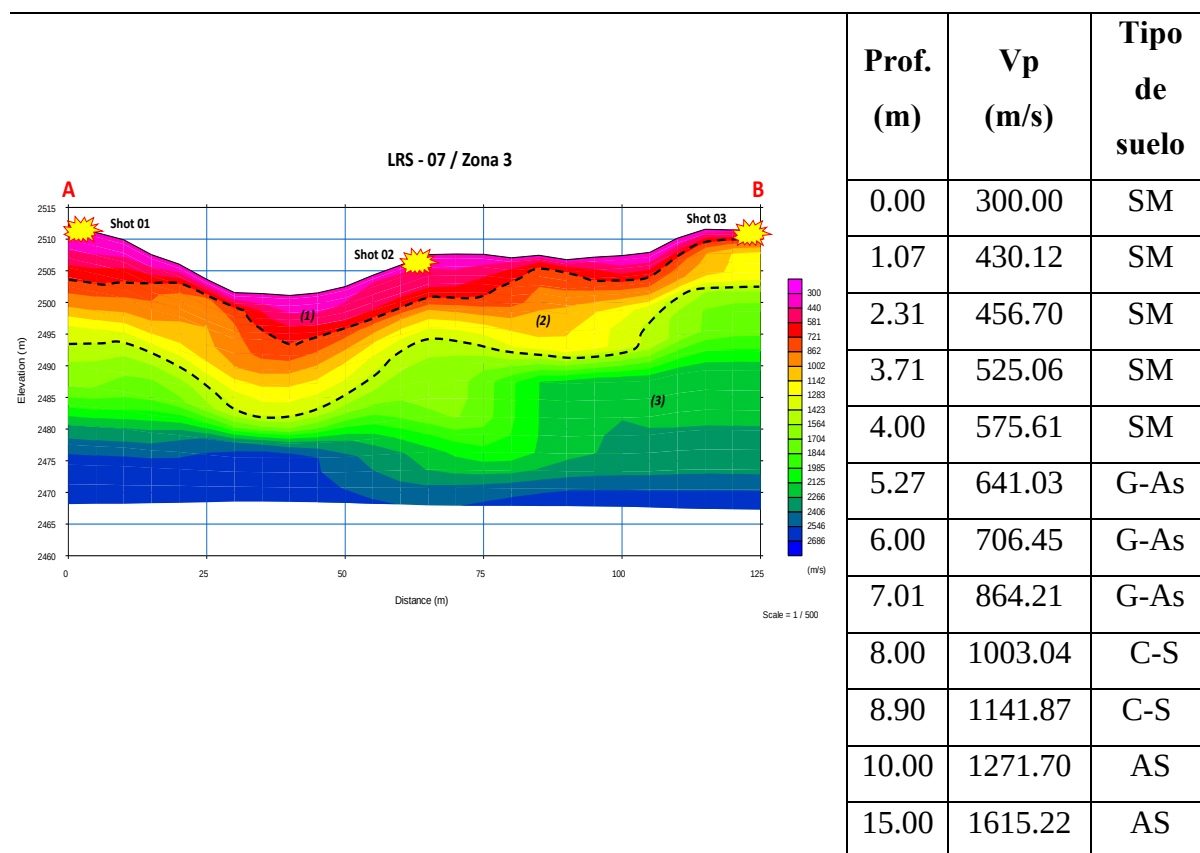
Clasificación inferida del suelo según ASTM D5777

Onda sísmica	Velocidades primarias	Colores	Características del suelo inferido
P	Vp1 = 300.00 - 713.00		(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vp2 = 713.00 - 1401.0		(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vp3 = 1401.00 a más		(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. Se consideró como: suelo meteorizado (SM), grava o arena seca (G-As), arena saturada (AS) y arcilla saturada (C-S).

Tabla 21

Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-07/Zona 3



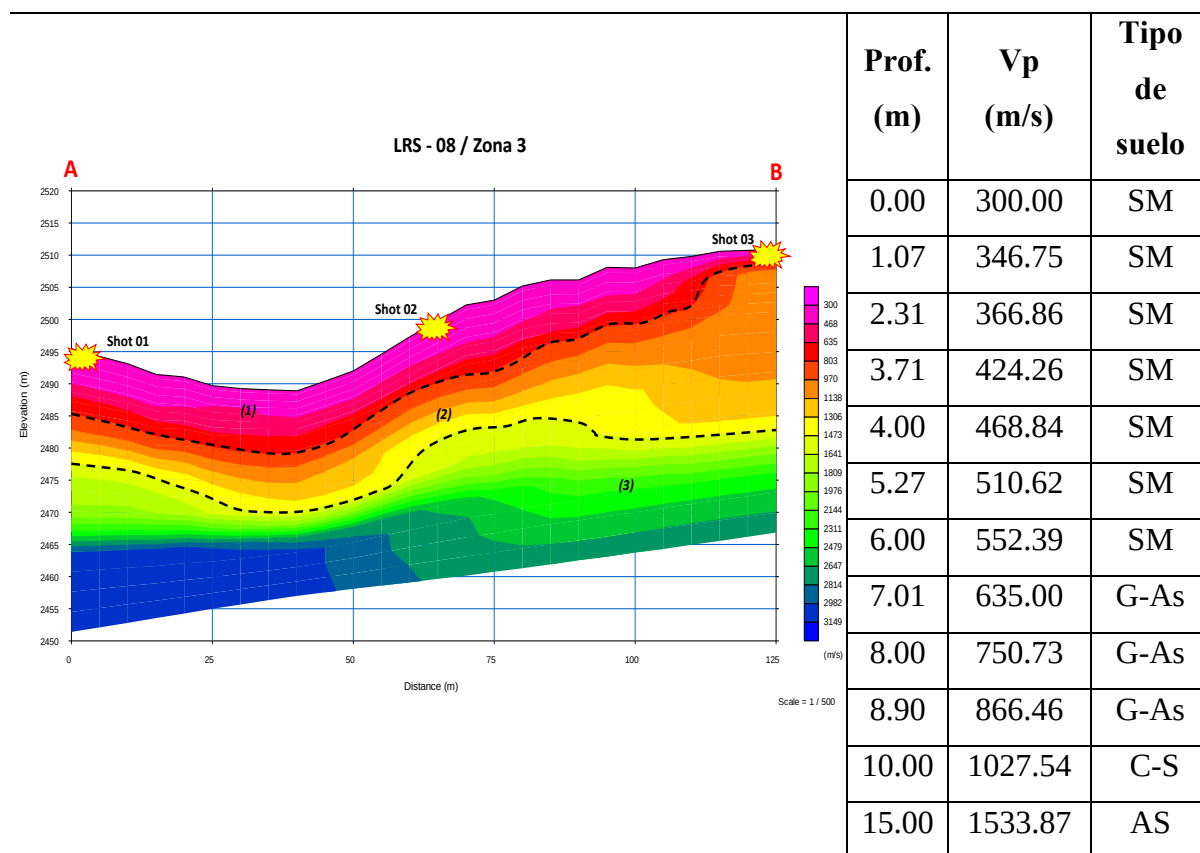
Clasificación inferida del suelo según ASTM D5777

Onda sísmica	Velocidades primarias	Colores	Características del suelo inferido
P	Vp1 = 300.00 - 721.00		(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vp2 = 721.00 - 1423.0		(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vp3 = 1423.00 a más		(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. Se consideró como: suelo meteorizado (SM), grava o arena seca (G-As), arena saturada (AS) y arcilla saturada (C-S).

Tabla 22

Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-08/Zona 3



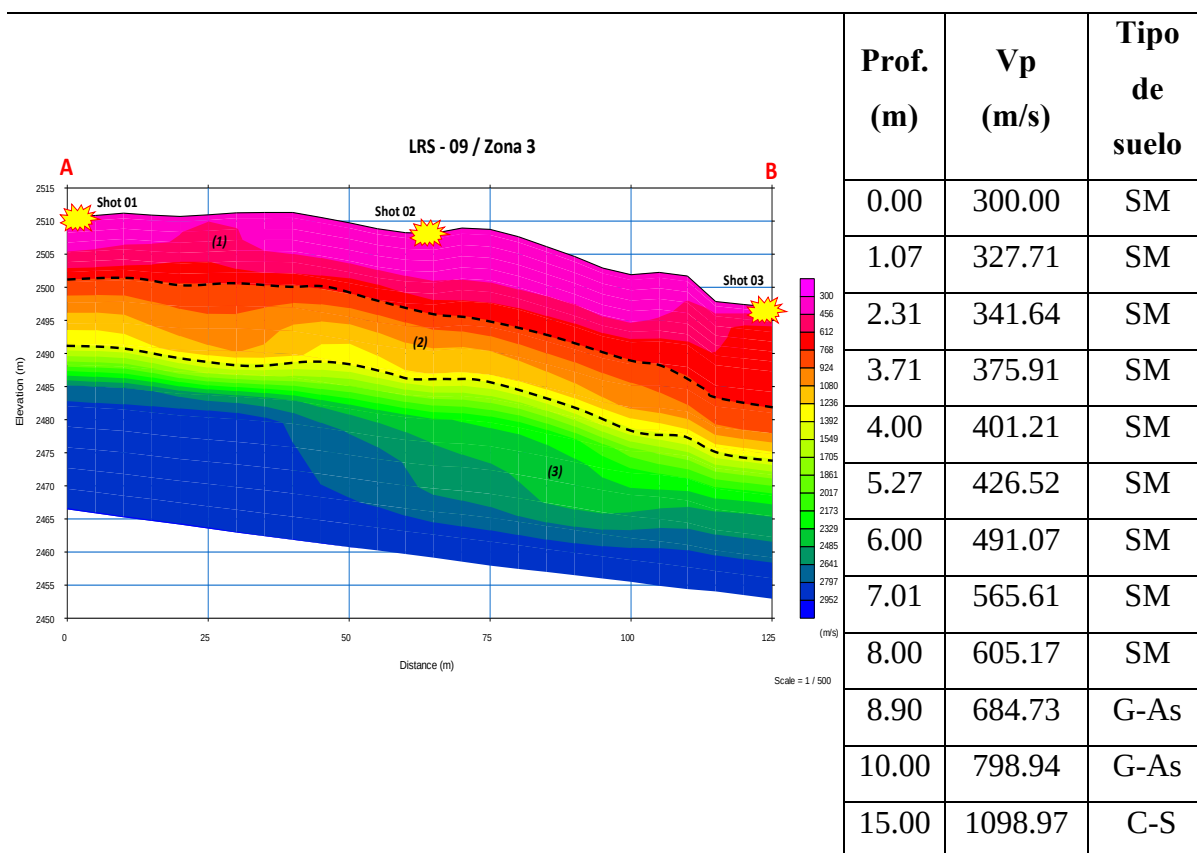
Clasificación inferida del suelo según ASTM D5777

Onda sísmica	Velocidades primarias	Colores	Características del suelo inferido
P	Vp1 = 300.00 - 803.00	➡	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vp2 = 803.00 - 1473.0	➡	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vp3 = 1473.00 a más	➡	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. Se consideró como: suelo meteorizado (SM), grava o arena seca (G-As), arena saturada (AS) y arcilla saturada (C-S).

Tabla 23

Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-09/Zona 3



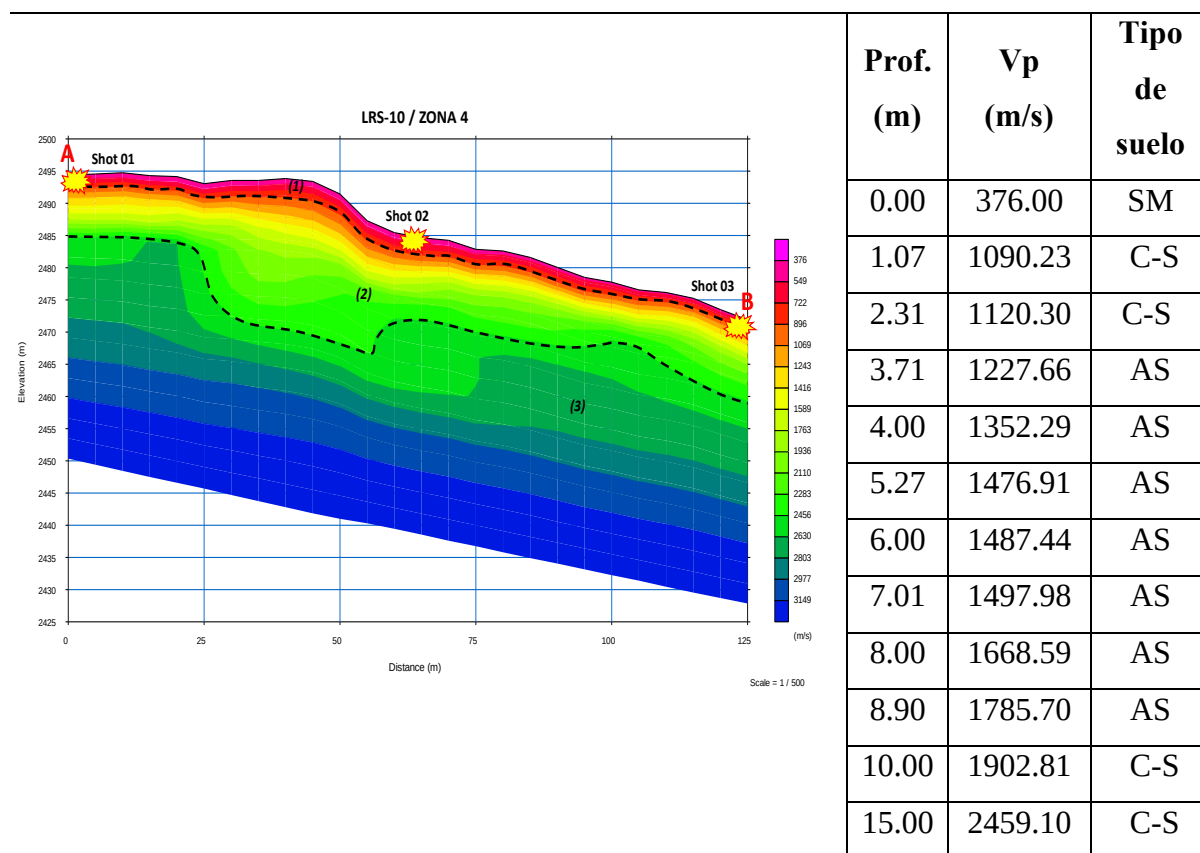
Clasificación inferida del suelo según ASTM D5777

Onda sísmica	Velocidades primarias	Colores	Características del suelo inferido
P	Vp1 = 300.00 - 768.00		(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vp2 = 768.00 - 1392.0		(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vp3 = 1392.00 a más		(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. Se consideró como: suelo meteorizado (SM), grava o arena seca (G-As), arena saturada (AS) y arcilla saturada (C-S).

Tabla 24

Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-10/Zona 4



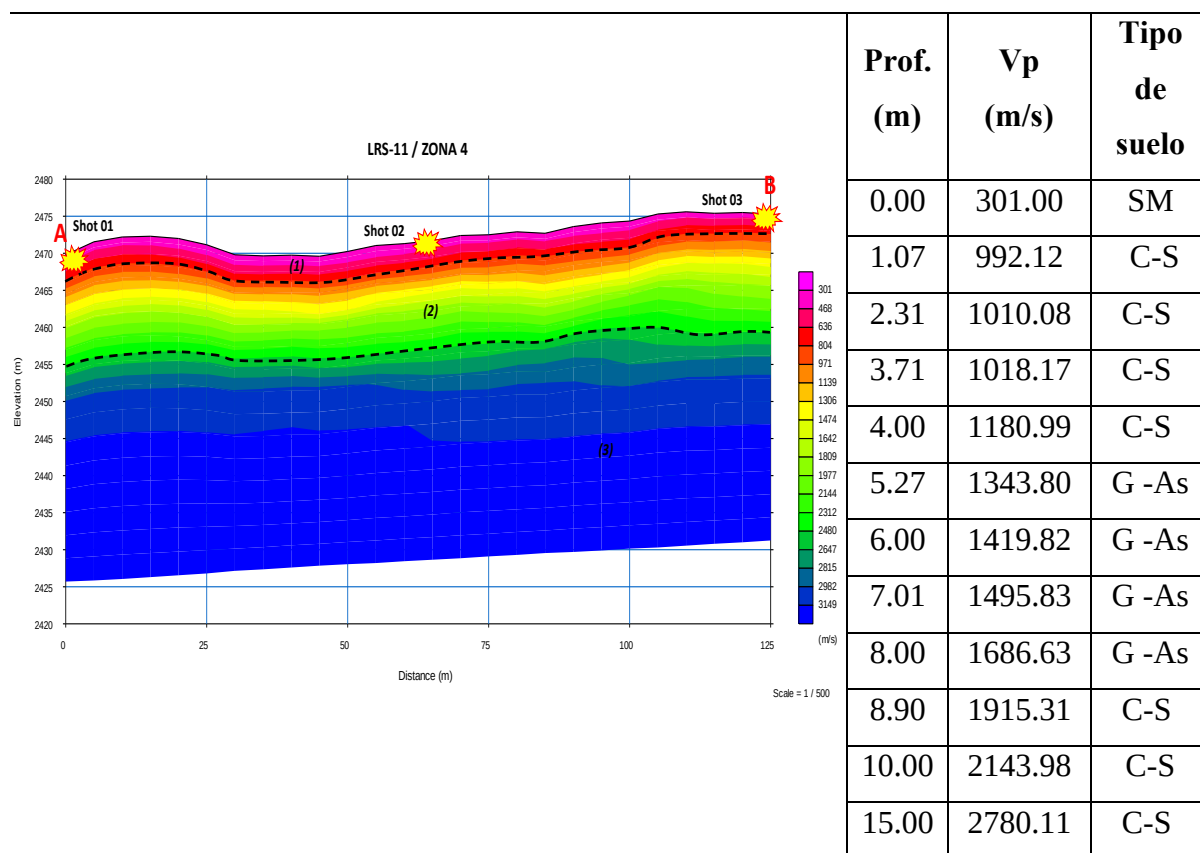
Clasificación inferida del suelo según ASTM D5777

Onda sísmica	Velocidades primarias	Colores	Características del suelo inferido
P	Vp1 = 376.00 - 896.00		(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vp2 = 896.00 - 2456.0		(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vp3 = 2456.00 a más		(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. Se consideró como: suelo meteorizado (SM), grava o arena seca (G-As), arena saturada (AS) y arcilla saturada (C-S).

Tabla 25

Análisis y caracterización del perfil sísmico - LRS-11/Zona 4



Clasificación inferida del suelo según ASTM D5777

Onda sísmica	Velocidades primarias	Colores	Características del suelo inferido
P	Vp1 = 301.00 - 804.00		(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vp2 = 804.00 - 2480.0		(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vp3 = 2480.00 a más		(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. Se consideró como: suelo meteorizado (SM), grava o arena seca (G-As), arena saturada (AS) y arcilla saturada (C-S).

Tabla 26*Velocidades primarias y espesor de los estratos obtenidos en la investigación*

<i>Zona</i>	Ensayo	Estrato sísmico	Espesor (m)	Vp (m/s)
1	LRS-01	1*	1.6 - 18.9	300 - 776
		2**	7.5 - 30.2	776 - 1412
		3***	-	1412 - 2999
	LRS-02	1*	1.1 - 9.0	300 - 732
		2**	2.0 - 21.4	732 - 1451
		3***	-	1451 - 2745
	LRS-03	1*	1.1 - 7.9	300 - 696
		2**	2.0 - 22.1	696 - 1488
		3***	-	1488 - 2543
2	LRS-04	1*	5.1 - 7.1	300 - 780
		2**	13.0 - 20.9	780 - 1420
		3***	-	1420 - 2860
	LRS-05	1*	7.5 - 13.0	300 - 759
		2**	8.1 - 14.5	759 - 1371
		3***	-	1371 - 2900
	LRS-06	1*	8.0 - 9.1	300 - 713
		2**	11.1 - 14.5	713 - 1401
		3***	-	1401 - 2639
3	LRS-07	1*	1.5 - 7.1	300 - 721
		2**	5.1 - 13.9	721 - 1423
		3***	-	1423 - 2686
	LRS-08	1*	2.1 - 10.9	300 - 803
		2**	6.2 - 25.0	803 - 1473
		3***	-	1473 - 3149
	LRS-09	1*	9.5 - 13.6	300 - 768
		2**	7.4 - 12.5	768 - 1392
		3***	-	1392 - 2952
4	LRS-10	1*	1.0 - 3.0	376 - 896

	2**	7.0 - 20.0	896 - 2456
	3***	-	2456 - 3149
	1*	2.0 - 3.0	301 - 804
LRS-11	2**	10.0 - 14.0	804 - 2480
	3***	-	2480 - 3149

Nota. (1*) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida. (2**) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada. (3***) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

b) Resultados del ensayo MASW-1D

Los datos mediante método MASW-1D fueron organizados en tablas, lo que favorece una mejor interpretación y análisis de los perfiles sísmicos de V_s , con velocidades que oscilan aproximadamente 200 m/s (mínima) y 937 m/s (máxima). Los datos de velocidades secundarias (V_s) obtenidos en el sector Lagunas, correspondientes a los perfiles MASW-01 hasta la MASW-11; se identificó tres unidades con velocidades sísmicas principales en las secciones analizadas según la normativa NTP E.030. Los valores representativos se resumen en la Tabla 38.

Estrato N.º 1: De acuerdo a la normativa, los valores de velocidades secundarias (V_s), son clasificados como Suelos Intermedios (S2). Finalmente, muestra la presencia de material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.

Estrato N.º 2: De acuerdo a la normativa, los valores de velocidades secundarias (V_s), son clasificados como Suelos Intermedios (S2). Finalmente, se caracterizó un material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.

Estrato N.º 3: De acuerdo a la normativa, los valores de velocidades secundarias (V_s), son clasificados como Suelos Muy Rígidos (S1) o Suelos Intermedios (S2). Finalmente, se caracterizó un material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Zona 1: se analizó los tres primeros ensayos sísmicos (MASW-01, MASW-02 y MASW-03) respecto a velocidades secundarias. En el ensayo de MASW-01, se visualizó un primer estrato de 3.7 m de espesor, con velocidades de propagación de 273 hasta 285 m/s; asimismo, el segundo estrato alcanzó una profundidad de 21.3 m, con velocidades que varió de 303 hasta 461 m/s; a su vez, el tercer estrato presentó un espesor variable y velocidades de 527 hasta 552 m/s. En el ensayo de MASW-02, se visualizó un primer estrato de 7 m de espesor, sus velocidades de propagación variaron de 235 hasta 280 m/s; el segundo estrato alcanzó una profundidad de 13.8 m, con velocidades que varió de 302 hasta 476 m/s; del mismo modo, el tercer estrato presentó un espesor variable y velocidades de 519 hasta 595 m/s. Por último, el ensayo de MASW-03, se visualizó que el primer estrato con un espesor de 3.7 m, sus velocidades de propagación son de 334 hasta 346 m/s; seguido del segundo estrato evidente de 14.4 m con velocidades que varió de 358 hasta 479 m/s; asimismo, el tercer estrato presentó un espesor variable y velocidades de 522 hasta 611 m/s.

Zona 2: se analizó los tres siguientes ensayos sísmicos (MASW-04, MASW-05, MASW-06) respecto a velocidades secundarias. En el ensayo de MASW-04, se visualizó un primer estrato de 5.3 m de espesor, con velocidades de propagación desde 382 hasta 385 m/s; asimismo, el segundo estrato alcanzó un espesor de 7.9 m, y velocidades que varió de 417 hasta 494 m/s; a su vez, el tercer estrato presentó un espesor variable y velocidades de 510 hasta 658 m/s. En el ensayo de MASW-05, se visualizó el primer estrato de 5.27 m de espesor, sus velocidades de propagación son de 257 hasta 297 m/s; igualmente, el segundo estrato presenta un espesor de 19.33 m, y velocidades que varió de 324 hasta 485 m/s; del mismo modo, el tercer estrato presentó un espesor variable y velocidades de 536 hasta 555 m/s. Por último, el ensayo de MASW-06, se visualizó que el primer estrato con un espesor de 8.9 m, sus velocidades de propagación son de 214 hasta 290 m/s; seguido del segundo estrato evidente de

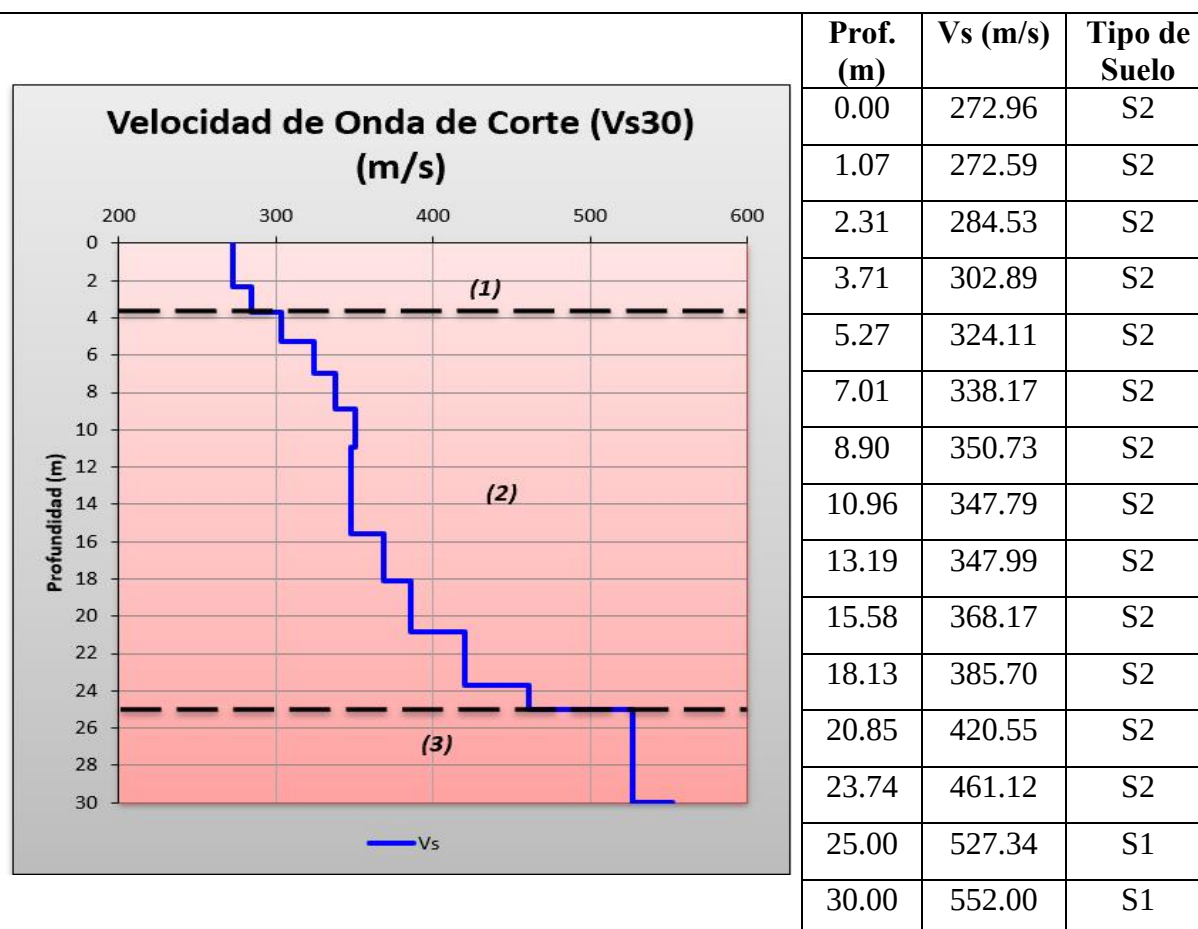
6.7 m con velocidades que varió de 373 hasta 475 m/s; asimismo, el tercer estrato presentó un espesor variable y velocidades de 516 hasta 587 m/s.

Zona 3: se analizaron los tres siguientes ensayos sísmicos (MASW-07, MASW-08, MASW-09) respecto a velocidades secundarias. En el ensayo de MASW-07, se visualizó un primer estrato de 3.7 m de espesor, con velocidades de propagación desde 262 hasta 277 m/s; asimismo, el segundo estrato alcanzó una profundidad de 9.5 m, y velocidades que varió de 314 hasta 418 m/s; a su vez, el tercer estrato presentó un espesor variable y velocidades de 431 hasta 576 m/s. En el ensayo de MASW-08, en el primer estrato se visualizó un espesor de 8.9 m, sus velocidades de propagación son de 202 hasta 277 m/s; respecto al segundo estrato presenta un espesor de 14.8 m, con velocidades que varió de 306 hasta 398 m/s; del mismo modo, el tercer estrato presentó un espesor variable y velocidades de 413 hasta 458 m/s. Por último, el ensayo de MASW-09, se visualizó que el primer estrato con un espesor de 8.9 m, sus velocidades de propagación son de 200 hasta 288 m/s, seguido de un segundo estrato evidente de 11.95 m y velocidades que varió de 325 hasta 395 m/s; asimismo, el tercer estrato presentó un espesor variable y velocidades de 425 hasta 490 m/s.

Zona 4: se analizaron los dos últimos ensayos sísmicos (MASW-10, MASW-11) respecto a velocidades secundarias. En el ensayo de MASW-10, se visualizó un primer estrato de 2.3 m de espesor, con velocidades de propagación desde 560 hasta 563 m/s; asimismo, el segundo estrato alcanzó una profundidad de 15.8 m, con velocidades que varía de 563 hasta 657 m/s; a su vez, el tercer estrato presentó un espesor variable y velocidades de 698 hasta 776 m/s. En el ensayo de MASW-11, en el primer estrato se visualizó un espesor de 2.3 m, con única velocidad de propagación de 428 m/s; de igual manera, el segundo estrato presenta una profundidad de 15.8 m, con velocidades que varió de 446 hasta 749 m/s; del mismo modo, el tercer estrato presentó un espesor variable y velocidades de 857 hasta 937 m/s.

Tabla 27

Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-01



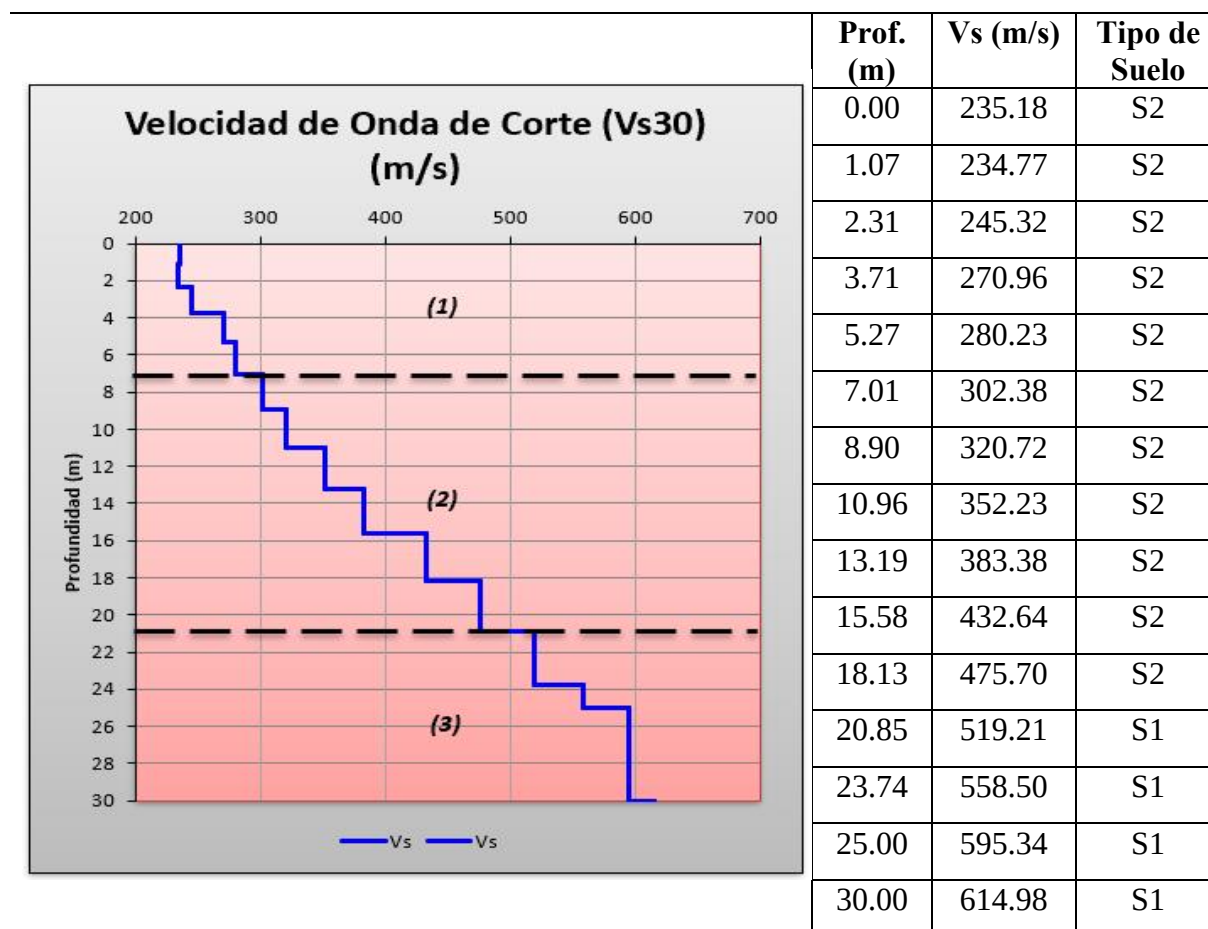
Clasificación inferida del suelo según NTP E.030

Onda sísmica	Velocidades secundarias	Suelo estimado
S	Vs1 = 272.96 - 284.53	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vs2 = 302.89 - 461.12	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vs3 = 527.34 - 552.00	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

Tabla 28

Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-02



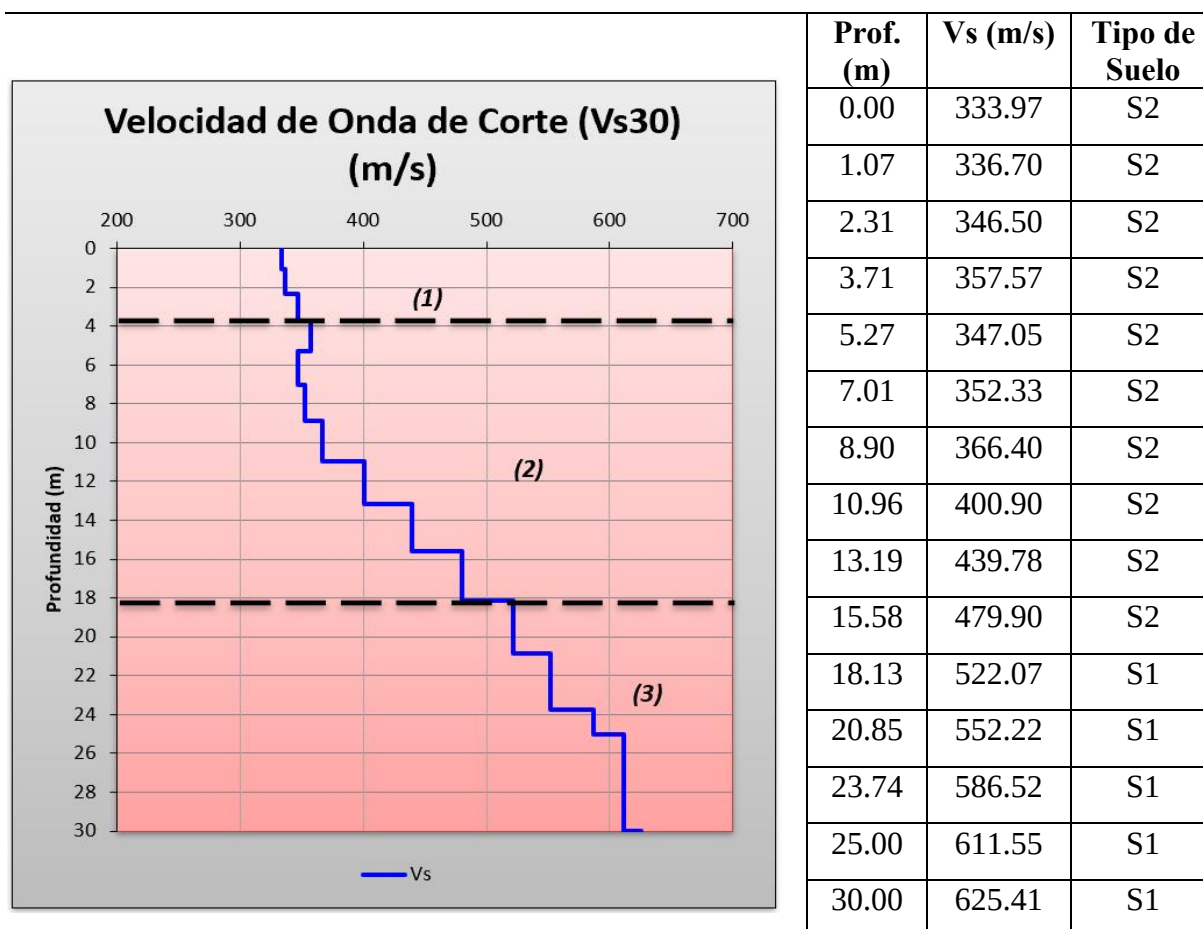
Clasificación inferida del suelo según NTP E.030

Onda sísmica	Velocidades secundarias	Suelo estimado
S	Vs1 = 235.18 - 280.23	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vs2 = 302.70 - 475.70	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vs3 = 519.21 - 595.34	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

Tabla 29

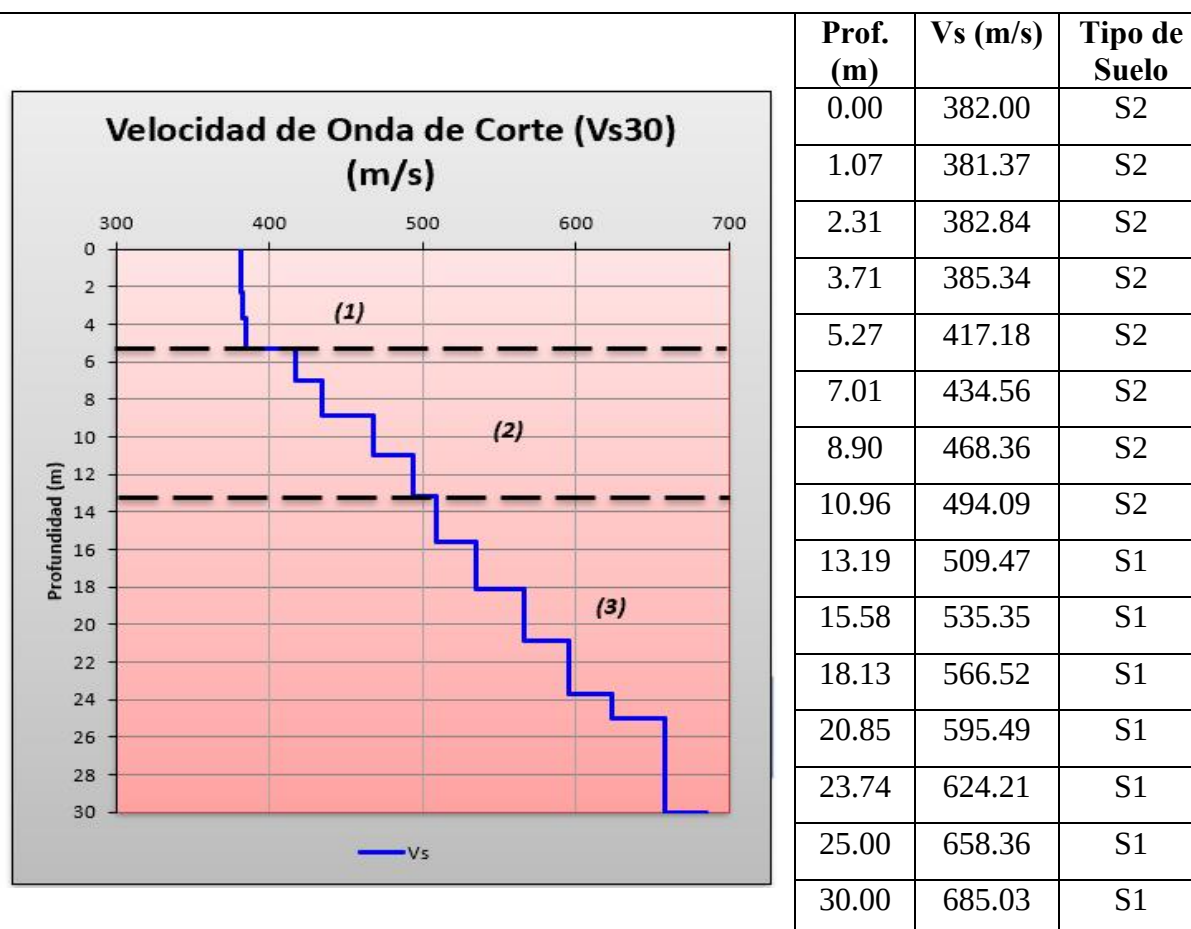
Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-03



Clasificación inferida del suelo según NTP E.030

Onda sísmica	Velocidades secundarias	Suelo estimado
S	Vs1 = 333.97 - 346.05	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vs2 = 357.57 - 479.07	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vs3 = 522.07 - 611.55	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

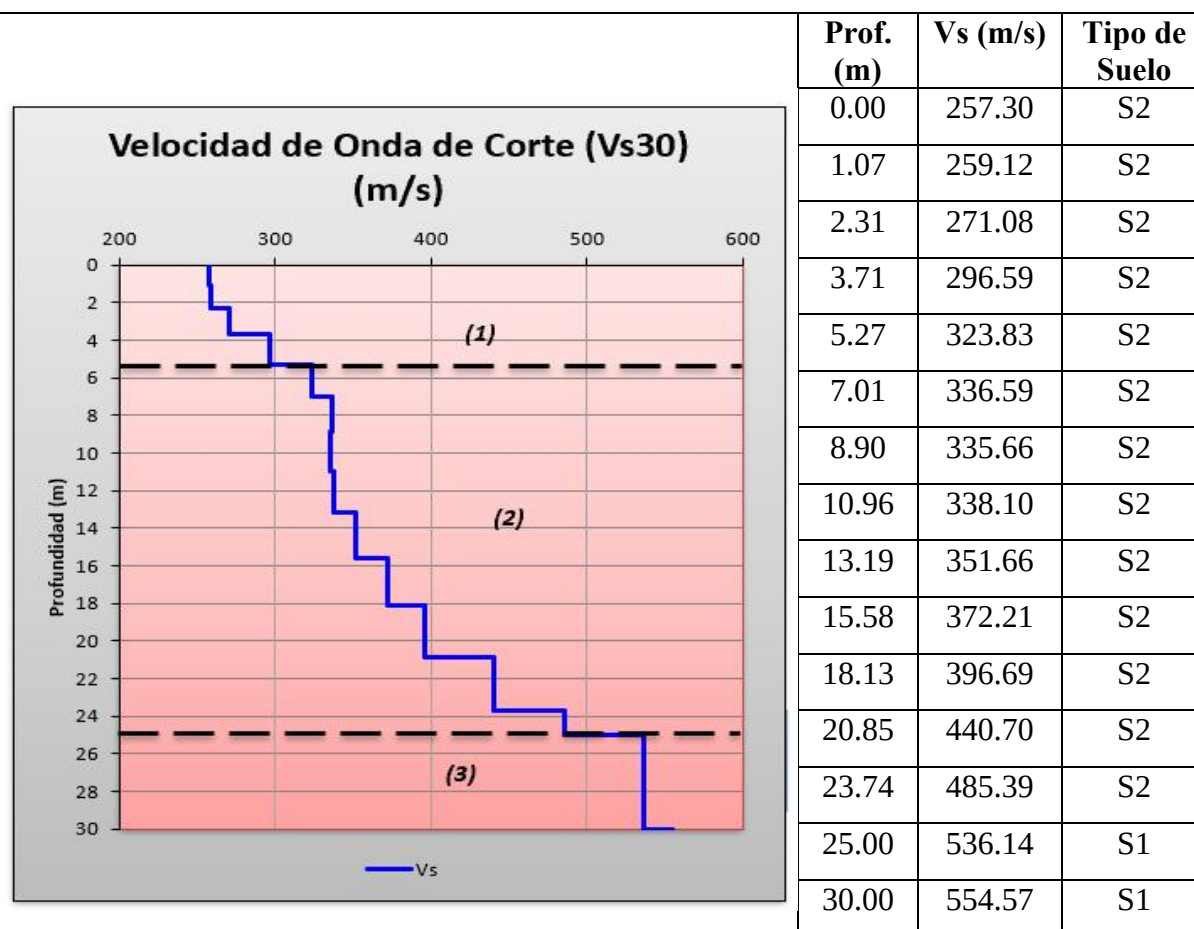
Tabla 30
Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-04

Clasificación inferida del suelo según NTP E.030

Onda sísmica	Velocidades secundarias	Suelo estimado
S	Vs1 = 382.00 - 385.34	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vs2 = 417.18 - 494.09	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vs3 = 509.47 - 658.36	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

Tabla 31

Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-05



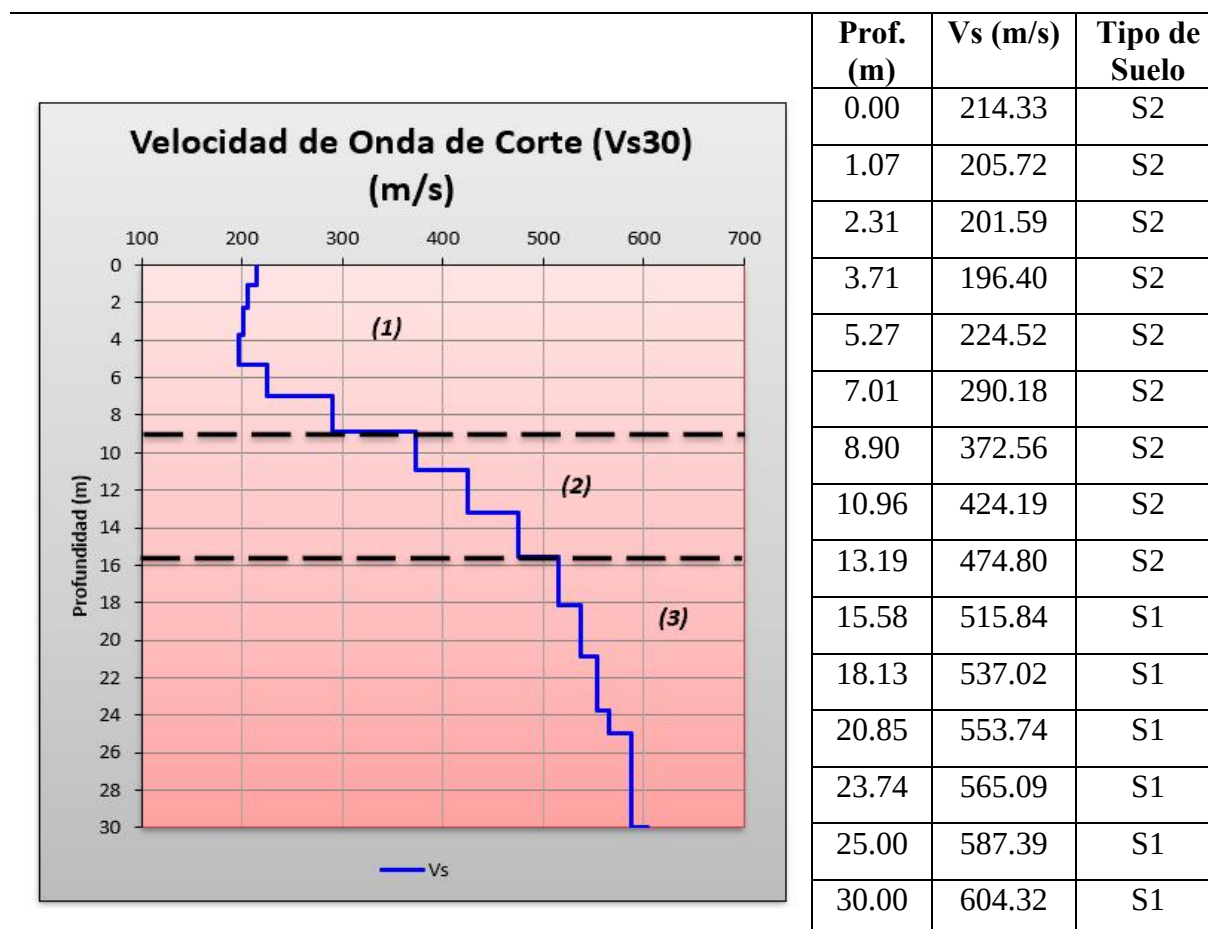
Clasificación inferida del suelo según NTP E.030

Onda sísmica	Velocidades secundarias	Suelo estimado
S	Vs1 = 257.30 - 296.59	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vs2 = 323.83 - 485.39	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vs3 = 536.14 - 554.57	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

Tabla 32

Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-06



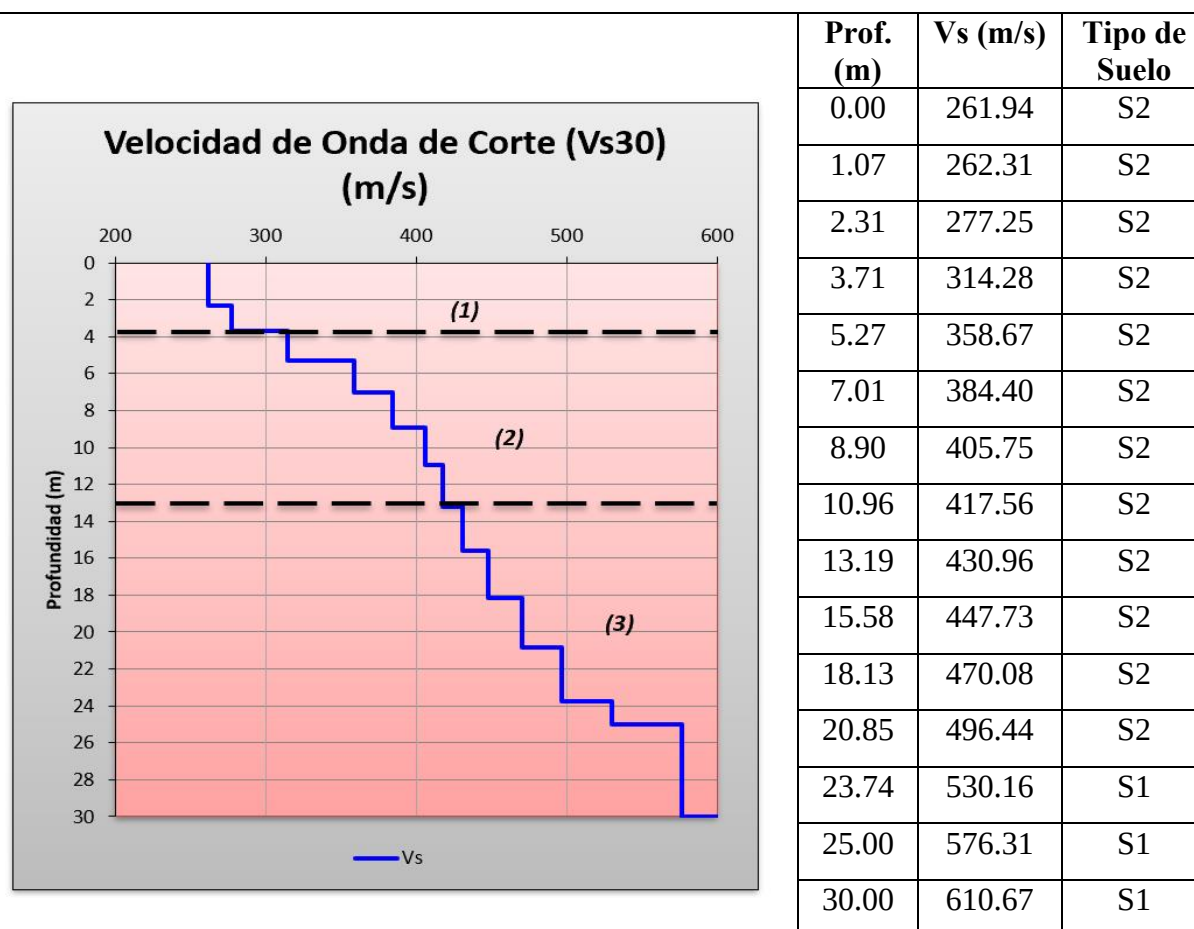
Clasificación inferida del suelo según NTP E.030

Onda sísmica	Velocidades secundarias	Suelo estimado
S	Vs1 = 214.33 - 290.18	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vs2 = 372.56 – 474.80	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vs3 = 515.84 – 587.39	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

Tabla 33

Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-07



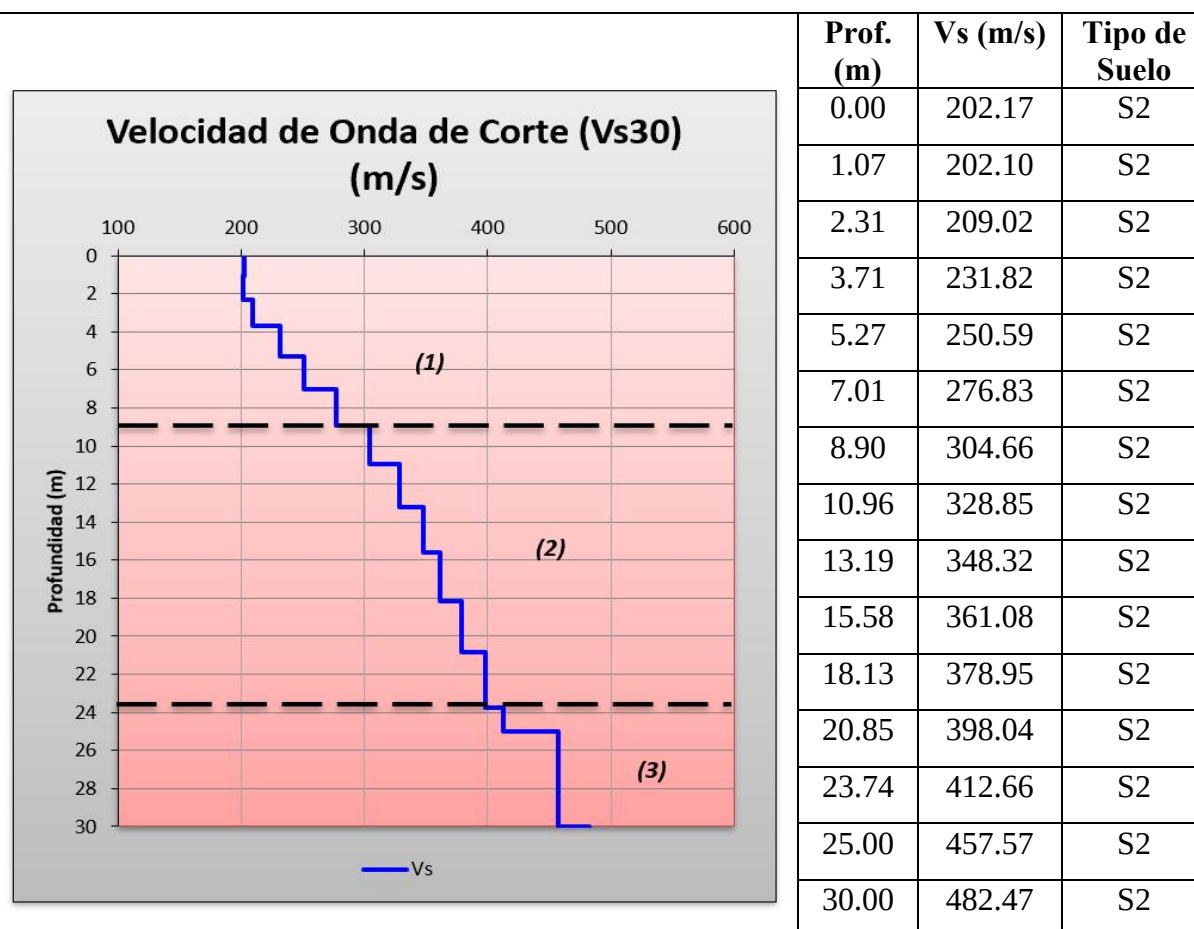
Clasificación inferida del suelo según NTP E.030

Onda sísmica	Velocidades secundarias	Suelo estimado
S	Vs1 = 261.94 - 277.25	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vs2 = 314.28 - 417.56	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vs3 = 430.96 - 576.31	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

Tabla 34

Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-08



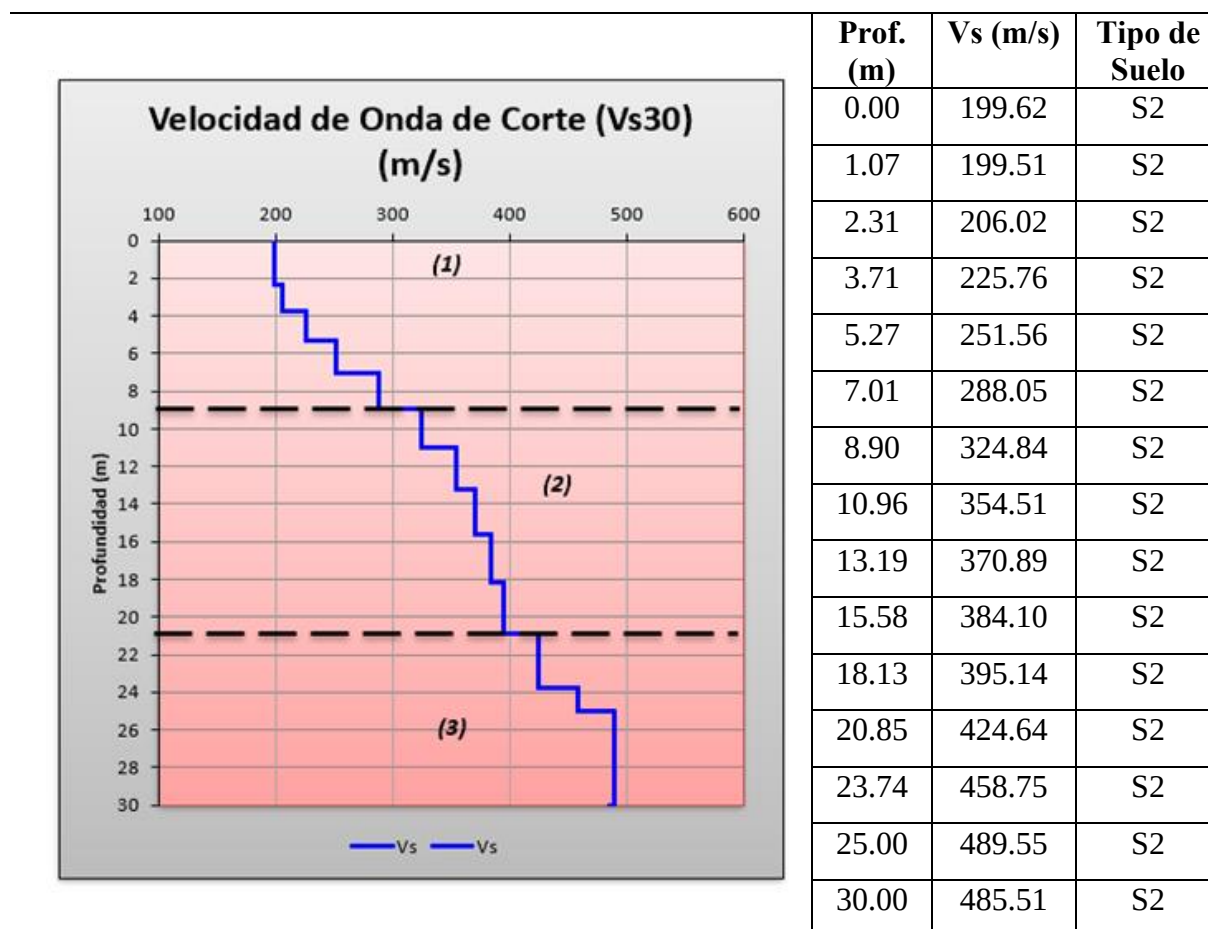
Clasificación inferida del suelo según NTP E.030

Onda sísmica	Velocidades secundarias	Suelo estimado
S	Vs1 = 202.17 - 276.83	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vs2 = 305.66 – 398.04	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vs3 = 412.66 - 457.57	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

Tabla 35

Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-09



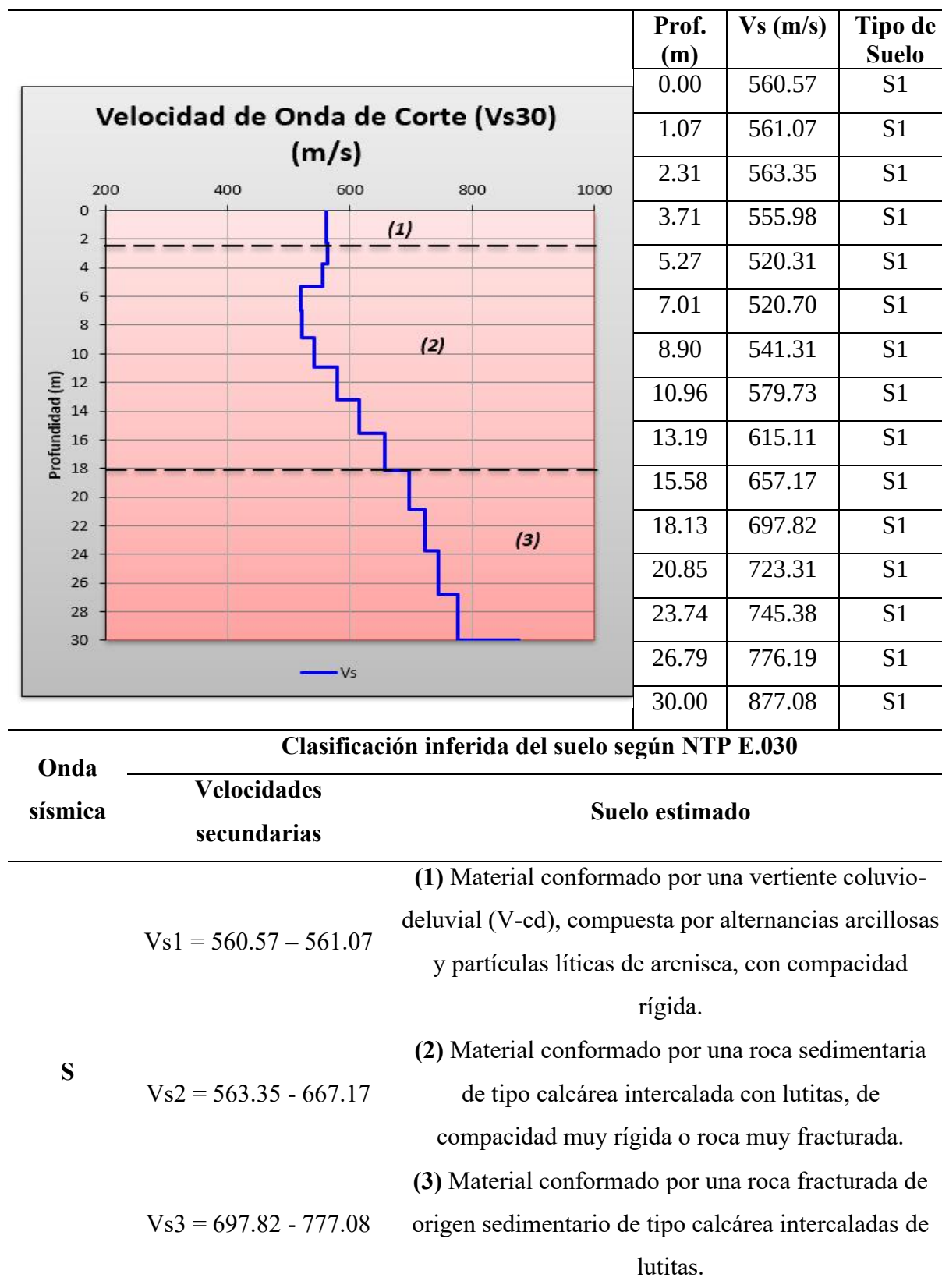
Clasificación inferida del suelo según NTP E.030

Onda sísmica	Velocidades secundarias	Suelo estimado
S	Vs1 = 199.62 – 288.05	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vs2 = 324.84 – 395.14	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vs3 = 424.64 - 489.55	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

Tabla 36

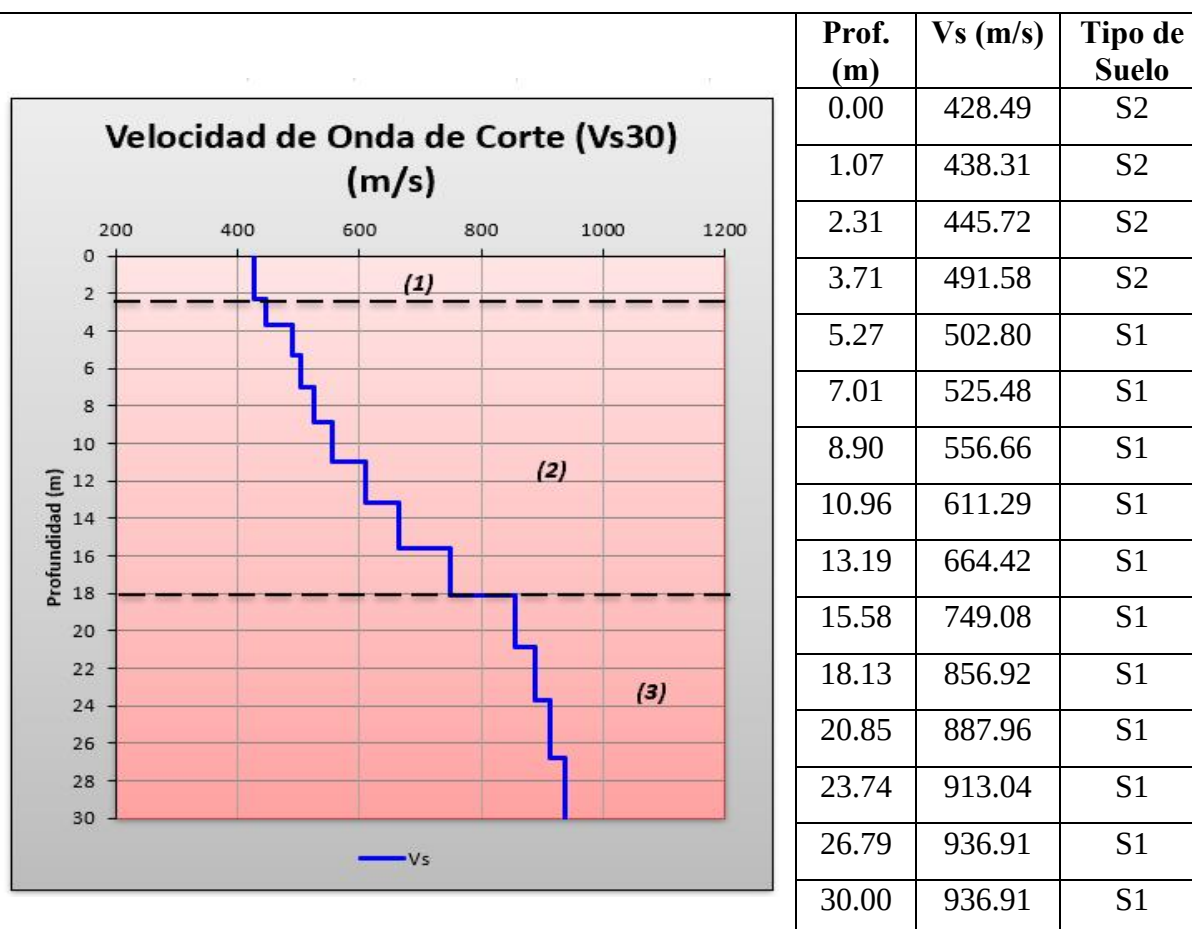
Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-10



Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

Tabla 37

Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-11



Clasificación inferida del suelo según NTP E.030

Onda sísmica	Velocidades secundarias	Suelo estimado
S	Vs1 = 428.49 - 438.31	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vs2 = 445.72 - 749.08	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vs3 = 856.92 - 936.91	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

Tabla 38*Tabla resumen de la estratigrafía de los sondeos de MASW*

Zona	Ensayo	Estrato sísmico	Espesor (m)	Vs (m/s)
1	MASW-01	1*	3.7	273 - 285
		2**	21.3	303 - 461
		3***	-	527 - 552
	MASW-02	1*	7.0	235 - 280
		2**	13.8	302 - 476
		3***	-	519 - 595
	MASW-03	1*	3.7	334 - 346
		2**	14.4	358 - 479
		3***	-	522 - 611
2	MASW-04	1*	5.3	382 - 385
		2**	7.9	417 - 494
		3***	-	510 - 658
	MASW-05	1*	5.27	257 - 297
		2**	19.33	324 - 485
		3***	-	536 - 555
	MASW-06	1*	8.9	214 - 290
		2**	6.7	373 - 475
		3***	-	516 - 587
3	MASW-07	1*	3.7	262 - 277
		2**	9.5	314 - 418
		3***	-	431 - 576
	MASW-08	1*	8.9	202 - 277
		2**	14.8	306 - 398
		3***	-	413 - 458
	MASW-09	1*	8.9	200 - 288
		2**	11.95	325 - 395
		3***	-	425 - 490

4	MASW-10	1*	2.3	560 - 561
		2**	15.8	563 - 657
		3***	-	698 - 776
	MASW-11	1*	2.3	428 - 428
		2**	15.8	446 - 749
		3***	-	857 - 937

Nota. (1*) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida. (2**) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada. (3***) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

c) Resultados del ensayo MASW-2D

Los datos mediante método MASW-2D, fue organizado en tablas, lo que favorece una mejor interpretación y análisis de los perfiles sísmicos de Vs, con velocidades que oscilan aproximadamente 185 m/s (mínima) y 620 m/s (máxima). Los datos de velocidades primarias (Vp) obtenidos en el sector Lagunas, correspondientes a los perfiles MASW-2D 01 hasta la MASW-2D 03; se identificó tres unidades con velocidades sísmicas principales en las secciones analizadas según la normativa NTP E.030. Los valores representativos se resumen en la Tabla 42.

Estrato N.º 1: la posición con tonalidades de rojo a rosa seca, indica velocidades secundarias (Vs) clasificados como Suelos Intermedios (S2). Finalmente, muestra la presencia de Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.

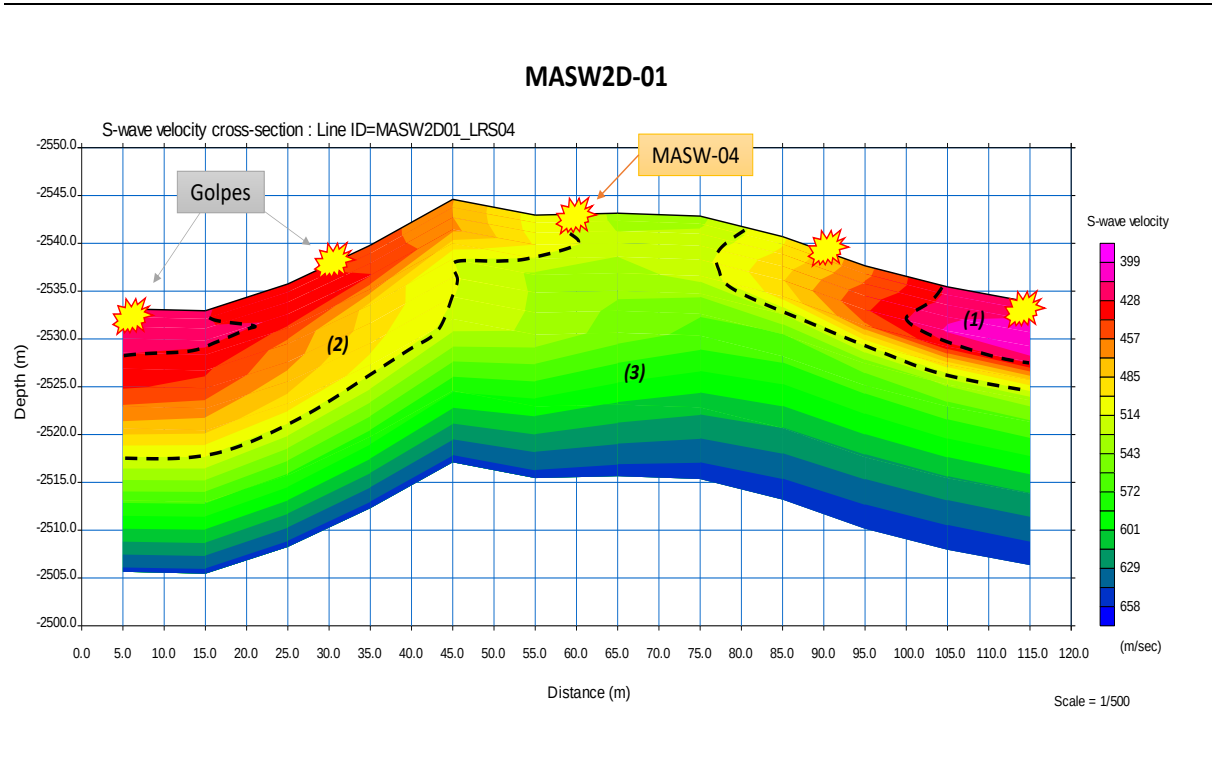
Estrato N.º 2: la posición con tonalidades de naranja a amarillo, indica velocidades secundarias (Vs), clasificados como Suelos Intermedios. Finalmente, se caracterizó un material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.

Estrato N.º 3: la posición con tonalidades de verde oscuro a azul, indica velocidades secundarias (Vs), clasificados como Suelos Muy Rígidos (S1) o Suelos Intermedios (S2). Finalmente, se caracterizó un material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Zona 2: se analizaron tres ensayos sísmicos (MASW-2D 01, MASW-2D 02, MASW-2D 03) respecto a velocidades secundarias. En el ensayo de MASW-2D 01, se visualizó que los espesores del primer estrato variaron desde 4.9 - 5.3 m, y las velocidades de propagación son de 399 hasta 428 m/s; en el caso del segundo estrato con espesores entre 5 -15 m, y velocidades que varió de 428 hasta 514 m/s; asimismo, el tercer estrato con espesor variable con velocidades de 514 hasta 658 m/s. En el ensayo de MASW-2D 02, se visualizó que los espesores del primer estrato varían desde 7.1 - 9.5 m, y las velocidades de propagación son de 218 hasta 300 m/s; respecto al segundo estrato y espesores entre 8 - 9.5 m, con velocidades que varió de 300 hasta 411 m/s; asimismo, el tercer estrato con espesor variable y velocidades de 411 hasta 508 m/s. Por último, en el ensayo de MASW-2D 03, el primer estrato los espesores se encuentran entre 6.2 - 11 m, sus velocidades de propagación son de 183 hasta 331 m/s; igualmente, el segundo estrato de espesores entre 9 - 16 m, y velocidades que varía de desde 331 hasta 529 m/s; asimismo, el tercer estrato presentó un espesor variable y velocidades de 529 hasta 627 m/s.

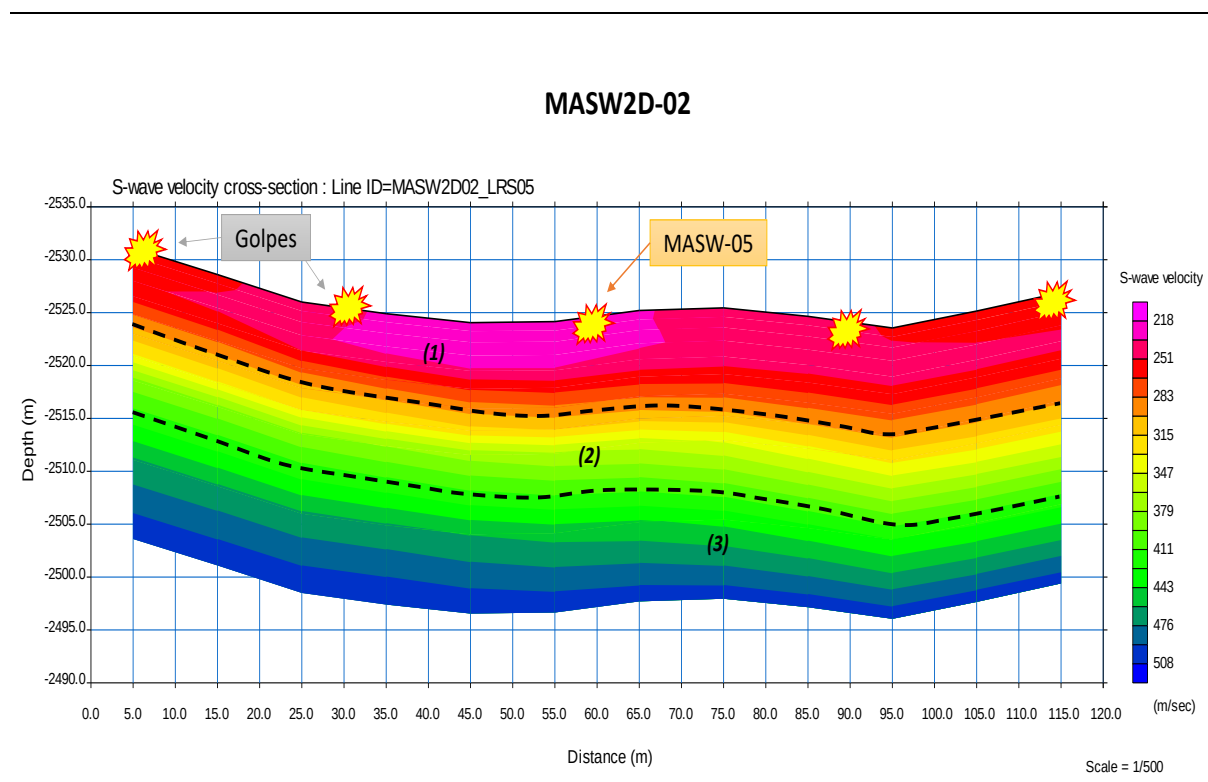
Tabla 39

Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-2D 01



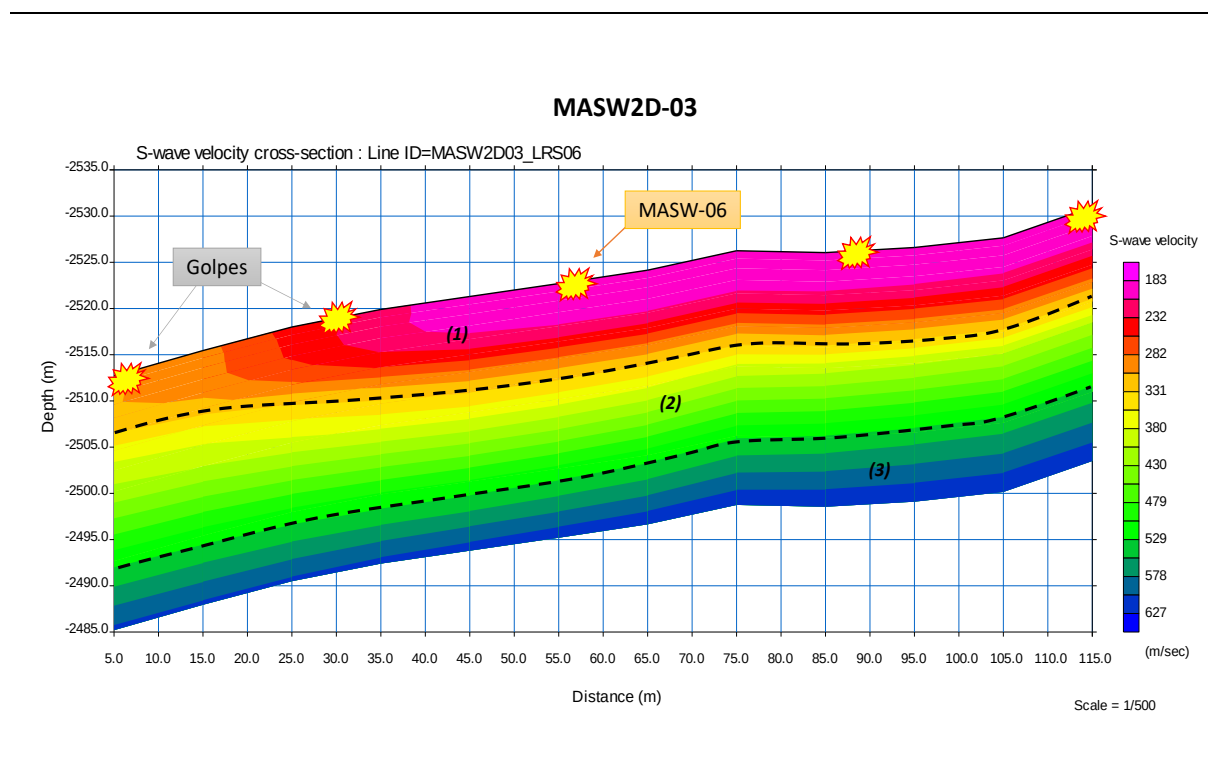
Clasificación inferida del suelo según NTP E.030		
Onda sísmica	Velocidades secundarias	Suelo estimado
S	Vs1 = 399.00 – 428.00	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vs2 = 428.00 – 514.00	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vs3 = 514.00 – 658.00	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

Tabla 40
Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-2D 02


Clasificación inferida del suelo según NTP E.030		
Onda sísmica	Velocidades secundarias	Suelo estimado
S	Vs1 = 218.00 – 300.00	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vs2 = 300.00 – 411.00	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vs3 = 411.00 – 508.00	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

Tabla 41
Análisis y caracterización del perfil sísmico MASW-2D 03


Onda sísmica	Clasificación inferida del suelo según NTP E.030	
	Velocidades secundarias	Suelo estimado
S	Vs1 = 183.00 – 331.00	(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
	Vs2 = 331.00 – 529.00	(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
	Vs3 = 529.00 – 627.00	(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Nota. El tipo de suelo, S1: Roca o suelos muy rígidos y S2: Suelos Intermedios.

Tabla 42*Tabla resumen de la estratigrafía de los sondeos de MASW-2D*

Zona	Ensayo	Estrato sísmico	Espesor (m)	Vs (m/s)
2	MASW-2D 01	1*	4.9 - 5.3	399 - 428
		2**	5.0 - 15.0	428 - 514
		3***	-	514 - 658
	MASW-2D 02	1*	7.1 - 9.5	218 - 300
		2**	8.0 - 9.5	300 - 411
		3***	-	411 - 508
	MASW-2D 03	1*	6.2 - 11.0	183 - 331
		2**	9.0 - 16.0	331 - 529
		3***	-	529 - 627

Nota. (1*) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida. (2**) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada. (3***) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

d) Resultados de los parámetros elásticos

Los resultados presentan un resumen detallado de los parámetros elásticos correspondientes a las zonas 1, 2, 3 y 4. Para cada una de ellas, se consideraron valores promedio calculados en intervalos de profundidad definidos entre 1.07 y 5.27 m, 5.27 y 10.00 m, así como de 10.00 a 15.00 m.

Tabla 43

Tabla resumen de los valores promedio de los parámetros elásticos

<i>Zona</i>	<i>Prof. (m)</i>	<i>V_s</i>	<i>V_p</i>	<i>p</i>	<i>V_p/V_s</i>	<i>μ</i>	<i>Módulo de corte (Gd)</i>	<i>Módulo de Young (Ed)</i>	<i>Módulo volumétrico (Kd)</i>	<i>Módulo de corte (Ge)</i>	<i>Módulo de Young (Ee)</i>	<i>Módulo volumétrico (Ke)</i>
		(m/s)	(m/s)	(t/m ³)		(Poisson)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(t/m ²)
1	1.07 - 5.27	302.97	628.87	1.33	2.09	0.33	1274.19	3370.65	3893.20	127.42	337.06	389.32
	5.27 - 10.00	337.25	878.91	1.35	2.61	0.39	1580.44	4393.50	9114.36	158.04	439.35	911.44
	10.00 -15.00	396.94	1118.93	1.38	2.82	0.42	2256.76	6419.50	15224.20	225.68	641.95	1522.42
2	1.07 - 5.27	296.90	528.32	1.33	1.81	0.27	1294.79	3227.78	2255.44	129.48	322.78	225.54
	5.27 - 10.00	366.23	784.86	1.36	2.16	0.35	1957.75	5254.20	6471.58	195.77	525.42	647.16
	10.00 -15.00	446.63	1100.25	1.40	2.52	0.39	2955.30	8189.55	13636.72	295.53	818.95	1363.67
3	1.07 - 5.27	253.68	441.26	1.31	1.74	0.25	897.33	2237.68	1527.64	89.73	223.77	152.76
	5.27 - 10.00	327.37	752.39	1.35	2.27	0.36	1518.28	4147.18	6549.46	151.83	414.72	654.95
	10.00 -15.00	387.86	1224.37	1.37	3.15	0.43	2137.67	6133.92	19377.92	213.77	613.39	1937.79

	1.07 - 5.27	510.45	1181.25	1.43	2.32	0.38	3847.09	10585.35	15663.58	384.71	1058.53	1566.36
3 - 4	5.27 - 10.00	538.75	1652.07	1.45	3.05	0.44	4299.91	12378.25	35444.07	429.99	1237.83	3544.41
	10.00 -15.00	649.32	2321.50	1.50	3.56	0.46	6535.16	19051.56	75831.88	653.52	1905.16	7583.19

Nota. Se han clasificado en cuatro zonas: la zona 1 incluye a las líneas sísmicas 1, 2 y 3; zona 2 contiene las líneas sísmicas 4 5 y 6; la zona 3 agrupa las líneas sísmicas 7, 8, 9 y parte de 10; finalmente la zona 4 en el cual abarca las líneas sísmicas una parte 10 y en su totalidad del perfil 11. Se obtuvo de los ensayos sísmicos.

4.2 Discusión de resultados

En los movimientos en masa se da con un mayor contenido de agua en el suelo, por ende, menos resistencia del terreno. En el área de estudio, siendo recurrentes los deslizamientos de tierra en zonas con fuertes pendientes que varían de 15° a 25° y los escarpes están mayores a 45°, lo cual coinciden con lo reportado por (León y Zavaleta, 2022; Tapia, 2024). Esta combinación de factores hidráulicos y geológicos muestra la importancia de los puquiales en la disminución de la estabilidad del terreno y el desencadenamiento de deslizamientos.

4.2.1 *Discusión de los resultados recopilados del estado de activación de los deslizamientos*

En el sector Lagunas, los deslizamientos se desarrollan sobre una geomorfología de colinas estructurales en roca sedimentaria y vertientes de origen coluvio-deluvial. Estas características presentan una clara similitud con los resultados de los investigadores (León y Zavaleta, 2022; Tapia, 2024). Dichas condiciones geomorfológicas explican que, al analizar el área de estudio, la porción noroeste del deslizamiento principal se activó en 2021 y actualmente evidencia un proceso de reactivación. Otras secciones permanecen en movimiento activo, mientras que el área noreste, respecto a la Laguna, presenta derrumbes activos. Toda esta dinámica de inestabilidad está condicionada significativamente por la geomorfología del área.

Es notable que el deslizamiento se subdivide en dos áreas: deslizamiento 1 (A) y deslizamiento 1 (B). Este último se activó en 2021 y actualmente se encuentra en un proceso de reactivación, mientras que el Deslizamiento 1 (A) permanece activo (árboles inclinados). Estas observaciones concuerdan con los estudios de (Barboza, 2024; León y Zavaleta, 2022; Tapia, 2024; Zevallos et al., 2025), quienes destacan que las condiciones de la pendiente, geología, geomorfología y presencia de agua, son factores determinantes para que estos deslizamientos mantengan un movimiento lento.

Figura 64

Deslizamiento 1(b) que se activó en el 2021, actualmente en proceso de reactivación

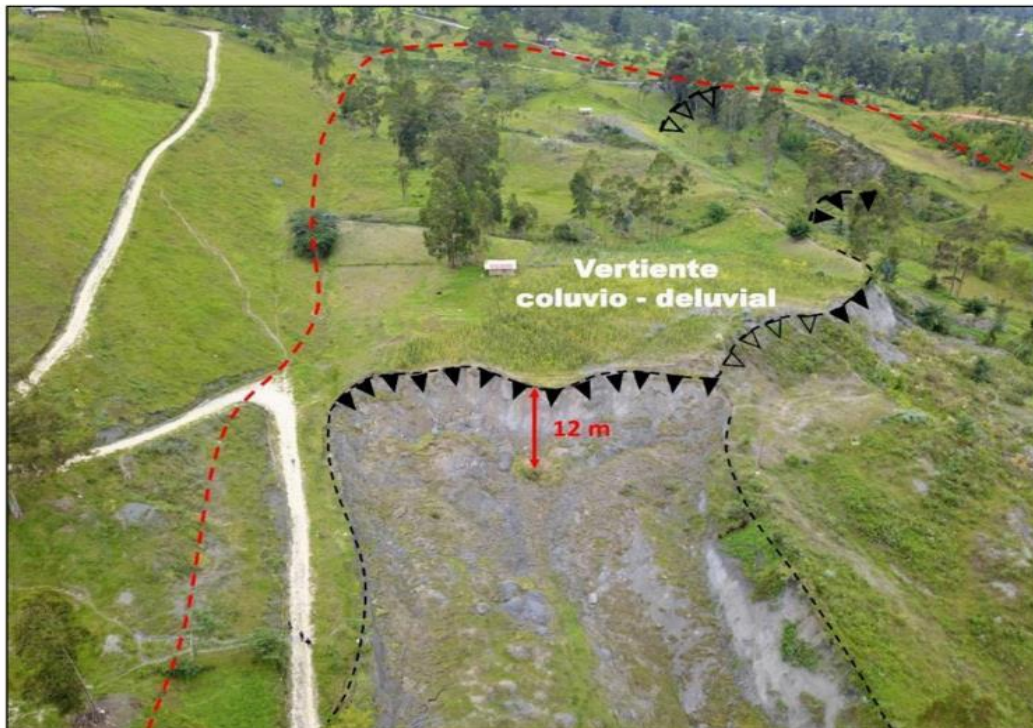


Figura 17. El escarpe principal alcanza de 12 metros, y su longitud supera 153.71 metros
Coordenadas UTM 761860 E – 9273584 N



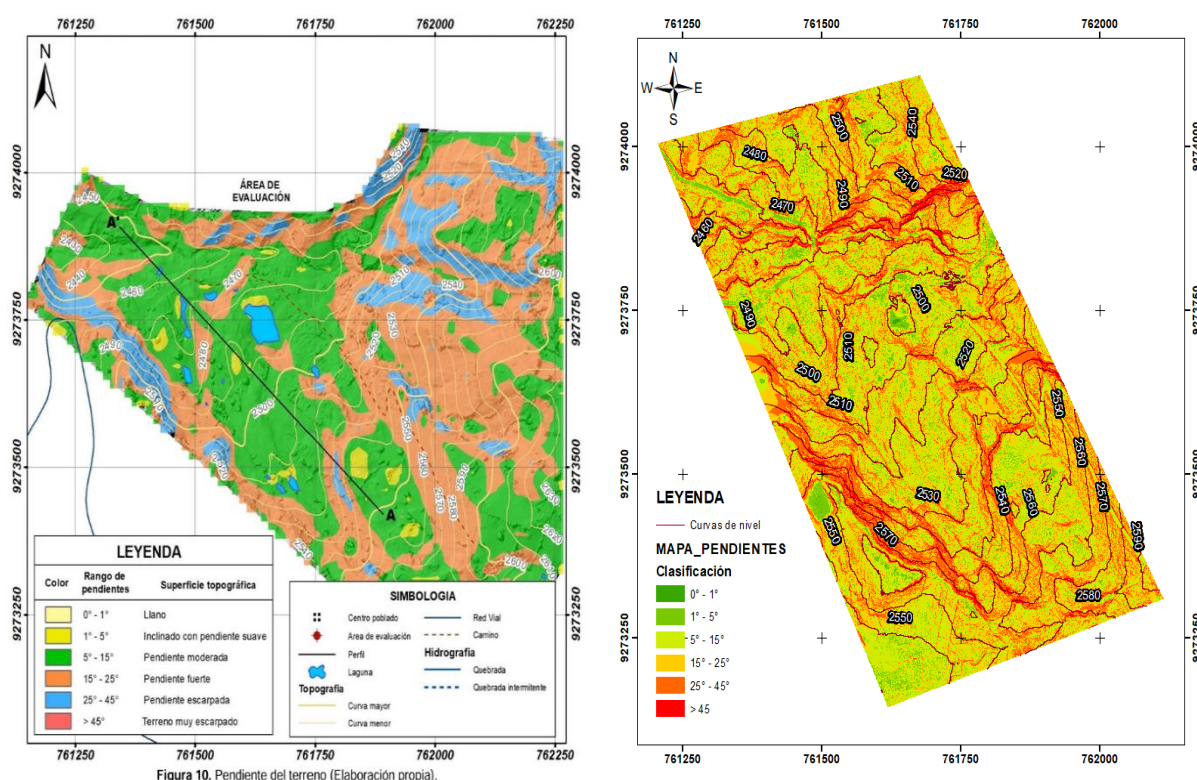
Figura 19. Área de cultivo sobre el deslizamiento (línea amarilla).
Coordenadas UTM 761769 E – 9273784 N

Nota. León y Zavaleta (2022).

Se caracterizó el mapa de pendientes, en un punto específico: la Laguna del Amor, para analizar el comportamiento de los deslizamientos o la dinámica del movimiento, según el estudio (León y Zavaleta, 2022) que realizaron en el año 2021 la Laguna del Amor se ubica dentro de las curvas de nivel entre 2480 y 2490. Sin embargo, el estudio fotogramétrico del 2024 el sector Lagunas está en los rangos de altura de 2500 y 2510 m. Esta diferencia de alturas permite analizar y confirmar que el deslizamiento se está desplazando de manera muy lenta, clasificándose como activo 1(A) y en proceso de reactivación 1(B), debido principalmente a los procesos de socavación y erosión generados por la quebrada Potrera.

Figura 65

Mapa de pendientes del año 2021 y 2024 respectivamente



Nota. Desplazamiento de la laguna según las curvas de nivel, (León y Zavaleta, 2022), y la investigación de la tesis 2024.

El análisis del mapa de alturas permite identificar que la zona de color rojo corresponde al área más crítica, ya que en ella se localizan los escarpes principales de los deslizamientos 1(A) y 1(B). En el caso del deslizamiento dos, su escarpe se encuentra dentro de la zona naranja, donde se registra un desnivel altimétrico de 95.88 m respecto a los demás deslizamientos. Esta significativa variación en el relieve refleja la alta peligrosidad asociada a este deslizamiento, tal como lo señalan (Barboza, 2024; León y Zavaleta, 2022; Tapia, 2024; Zevallos et al., 2025) en sus investigaciones.

Se puede visualizar la activación y reactivación de los deslizamientos a través del incremento en el tamaño de estos escarpes. Este análisis se respalda con la revisión de imágenes satelitales de los años 2011, 2015, 2019 y 2024. Asimismo, se ha identificado el crecimiento al lado noreste y aumento gradual de la Laguna durante las dos últimas décadas induciendo a una reactivación, la cual desemboca en la quebrada Potrera.

En el caso específico del deslizamiento dos, se puede notar que se activa por el mismo mecanismo, donde el incremento del caudal de la quebrada Potrera eleva significativamente la peligrosidad de dicho deslizamiento erosionando y socavando el pie del deslizamiento, como menciona (Tapia, 2024). Además, como se puede notar en la inclinación de los postes de luz; lo que reafirma la activación del deslizamiento.

En el ámbito internacional, las pendientes pronunciadas y los cortes en los taludes aceleran el proceso de activación y reactivación de los deslizamientos. Asimismo, (Guzmán, 2022) señala que estas condiciones geomorfológicas incrementan la inestabilidad del terreno. De igual manera, se ha reportado la presencia de capas de lutitas, tal como lo indican (Harba et al., 2019). Ambos estudios presentan similitudes con las condiciones geológicas y geomorfológicas identificadas en el sector Lagunas.

4.2.2 *Discusión de los resultados recopilados de los tipos de los deslizamientos*

Los deslizamientos se caracterizan por escarpes circulares o cóncavos hacia arriba (figura 48 y 49), que la rotación está en función a un eje paralelo al ancho del terreno según (Cruden y Varnes, 1996; Highland y Bobrowsky, 2008) concluyéndose movimiento de masas rotacionales antiguos que presenta deslizamientos activos y en proceso de reactivación, teniendo una similitud con los resultados de los investigadores (León y Zavaleta, 2022; Tapia, 2024; Zevallos et al., 2025).

En el área de investigación en la parte de acumulación y cuerpo de los deslizamientos se observó que la litoestratigrafía está influenciada directamente por la gran presencia de conglomerados, arenas y arcillas, con una alta proporción de materia orgánica concluyendo en depósitos bofedales, en su estudio de (Barboza, 2024), menciona que existen arcillas inorgánicas de alta plasticidad (CH) y suelos saturados. En el caso de la Formación Chota, se evidencia una notable presencia de rocas de lutitas, lodolitas con intercalación de arcillas, lo que incrementa la susceptibilidad al deslizamiento teniendo similitud con los resultados de las investigaciones de (Barboza, 2024; León y Zavaleta, 2022; Tapia, 2024; Zevallos et al., 2025).

En el caso de los depósitos coluvio-deluviales, que presentan un derrumbe activo concordando con lo investigado por (Tapia, 2024). Asimismo, se evidenció la presencia de la Formación Celendín en la parte noreste de los deslizamientos. Debido a la erosión y meteorización de la geología y otros factores, al entrar en contacto con el agua, favorece la generación del plano de ruptura cóncavo, dirección este a oeste aproximada N310° con pendientes que oscilan en 15° y 25°, guardando relación con la investigación de (León y Zavaleta, 2022).

En el área de estudio los planos de falla, ocurre principalmente en los contactos entre estratos por la presencia de arcillas o arenas saturadas o en los límites entre colinas (Subunidad de colina estructural en roca sedimentaria y vertiente coluvio-deluvial), en la zona evaluada es

donde se desarrollan los planos de falla más activos, evidenciándose entre los contactos de los deslizamientos 1(A) y 1(B) y el deslizamiento dos es de tipo rotacional por la forma cóncava del escarpe principal.

En cuanto a la geodinámica externa, se observa la presencia de pequeños cuerpos de agua o humedales: una laguna, lagunas estacionarias y puquios como se visualiza en figura 54. Asimismo, afirmándolo la investigación que describen (Zevallos et al., 2025), el cual, identificó tres niveles con potencias variables: suelos saturados, ligeramente húmedos y de poca humedad; incrementan la carga y reducen la rigidez del terreno, volviéndolo más vulnerable a la inestabilidad. Esta condición, sumada a las características litológicas, genera un riesgo geológico del sector Lagunas, catalogado como una zona de alta peligrosidad, tal como lo mencionan en sus investigaciones (Barboza, 2024; León y Zavaleta, 2022; Tapia, 2024; Zevallos et al., 2025).

El sistema hidrológico es otro factor condicionante, debido a la alta frecuencia de lluvias (figuras 54 y 55) teniendo como base el deslizamiento rotacional del 15 de marzo 2021, alcanzando el pico máximo de precipitación acumulada del año 2021, con un registro de 264.4 mm. conforme presentan los resultados (León y Zavaleta, 2022; Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2021; Zevallos et al., 2025). Finalmente, se identificaron procesos de reptación en el deslizamiento del sector Lagunas, observándose en la parte media de la masa deslizante presentando grumos y árboles inclinados, indicadores claros de movimientos lentos y progresivos del terreno.

En base a las investigaciones internacionales, las características geomorfológicas y geológicas, de los deslizamientos se caracterizó como rotacional, debido a la forma particular de su plano de falla, el cual presenta una geometría cóncava hacia arriba y pendientes pronunciadas. Estas condiciones se observan en el área de estudio y muestra similitudes con lo reportado en investigaciones de los autores (Guzmán, 2022; Perrone et al., 2021).

Figura 66*Escarpe del deslizamiento 1(A)*

Foto N°: 26: Altura del escarpe principal
Coordenadas: E: 761837.34 N: 9273360.48 C: 2445 m.s.n.m.

Nota. Tapia (2024).

4.2.3 Discusión de los resultados del ensayo geomagnético-perfiles de detección de frecuencias

El perfil 01 presenta tres estratos, uno de bajo potencial eléctrico con espesores de 90 - 130 m, guardando relación con lo investigado por los autores (Zevallos et al., 2025). Se describe que el movimiento en masa del deslizamiento rotacional antiguo como lo afirman en sus investigaciones de (Barboza, 2024; León y Zavaleta, 2022; Tapia, 2024; Zevallos et al., 2025), por la gran cantidad de material de bajo potencial eléctrico o potencial eléctrico, se puede inferir que el deslizamiento está en proceso de reactivación.

Se visualizó su posible plano de falla inducido a una profundidad variable según (León y Zavaleta, 2022; Zevallos et al., 2025), el material que está conformado, pertenece a piedemonte o vertiente coluvio deluvial, además, se observa la zona de acumulación del deslizamiento rotacional que contiene una gran cantidad de humedales coincidiendo con los reportes de las investigaciones de (Barboza, 2024; León y Zavaleta, 2022; Tapia, 2024; Zevallos et al., 2025), asimismo, en la intersección de los perfiles 1 y 4 en la parte noreste y suroeste se encuentran una laguna y suelos con afloramiento hídrico (anegamiento permanente de los suelos) respectivamente.

En el estrato se identificó un suelo permeable con espesores de 15 – 80 m, se observa un color verde a amarillento; respecto al tercer estrato, se caracterizó por un suelo poco permeable, que a la profundidad de 270 m se puede encontrar una roca fracturada por la presencia de bajas conductividades geomagnéticas, de acuerdo con los autores (Zevallos et al., 2025).

El perfil 02 se caracterizó en tres estratigrafías, además cruza el deslizamiento 1B y 1A; este último se visualizó como un deslizamiento inactivo según (León y Zavaleta, 2022), pero en proceso de reactivación por sus diferentes materiales de potencial eléctrico bajos, sumando a la discontinuidad en su estratigrafía. El primer estrato de bajo potencial eléctrico y suelos muy permeables con espesores de 20 - 135 m, el segundo estrato se define por suelos permeables con espesores de 20 - 80 m. Además, se indujo que el material pertenece a la vertiente coluvio-deluvial caracterizándose por su presencia de micas de arcilla teniendo similitud con lo reportado por (León y Zavaleta, 2022; Tapia, 2024) y bajas resistividades, según (Zevallos et al., 2025), así como una masa de empuje de deslizamiento rotacional permeable a dicho suelo. Asimismo, en los deslizamientos se presenta un posible flujo de zonas saturadas en base a las investigaciones de (Barboza, 2024; León y Zavaleta, 2022; Zevallos et al., 2025).

En el estrato tres se caracterizó como poco permeable según (Zevallos et al., 2025). Se infirió la presencia de una roca calcárea con intercalaciones de lutitas y el contacto entre las subunidades. Asimismo, el posible plano de falla. Además, en parte del inicio y fin del perfil se nota rocas calcáreas intercaladas de lutitas siendo un material erosionable al contacto del agua, de acuerdo con los resultados de los autores (Barboza, 2024; León y Zavaleta, 2022).

Perfil 03 se identificaron tres unidades estratigráficas, el estrato uno, se describe como un material de coluvio deluvial, describiéndose como muy permeable, con espesores de 30 - 135 m, porque en el cuerpo del deslizamiento 1(A), existen lagunas estacionarias ubicadas al suroeste del perfil, además áreas de cultivo y bofedales que se ubican en el noroeste del perfil, de acuerdo con los resultados de los autores (Barboza, 2024; León y Zavaleta, 2022; Zevallos et al., 2025), dicha saturación y anegamiento permanente de los suelos se concluye como un suelo muy permeable.

El estrato dos se compone de un material permeable con espesores de 30 - 70 m, se indujo la continuidad del posible plano de falla, cabe añadir que el cambio de estratigrafía de color celeste, simbolizando el anegamiento permanente del agua. El tercer estrato por su potencial eléctrico alto, se determinó que es un material poco permeable, teniendo similitud con la investigación de (Zevallos et al., 2025). Además de la intercalación de roca sedimentaria de unidades de colina estructural con vertiente coluvio deluvial.

En el Perfil 04, se analizó el estrato uno, el cual se indujo la existencia de un nivel freático que va en dirección a la quebrada Potrera, además, el estrato se puede visualizar el suelo saturado (suelo muy permeable) con espesores 18 - 45 m, producto de la Laguna, en el caso del estrato dos, tiene una variación de 70 - 90 m, caracterizándose como un suelo permeable. Asimismo, el estrato tres su potencial eléctrico altas se determinaron que es un material poco permeable, posibles rocas fracturadas por las discontinuidades de diferentes

colores, de acuerdo con los resultados de los autores (Barboza, 2024; León y Zavaleta, 2022; Zevallos et al., 2025).

En el perfil 05 se encuentran rocas lutitas, Formación Celendín (León y Zavaleta, 2022; Tapia, 2024), se clasifica en tres estratos. El estrato uno se caracteriza por un suelo muy permeable, con espesores que varían de 18 - 45 m, asimismo el estrato dos se caracteriza como un suelo permeable, con espesores que varían de 70 - 90 m. Finalmente el estrato tres se puede notar que es un suelo poco permeable, se infirió que pertenece a una roca sedimentaria intercalada de lutitas, compartiendo características comunes con la investigación de (Tapia, 2024).

En el perfil 06 el estrato uno se caracteriza por un suelo muy permeable, con espesores que varían de 10 - 20 m, asimismo el estrato dos se caracteriza como suelo permeable, con espesores que varían de 150 - 200 m, el cual se puede observar un posible material conductor porque a 30 m del inicio del perfil existen suelos con anegamiento permanente y afloramiento de puquios, asimismo a 110 metros se puede notar suelos con potencial eléctrico altas que se infiere a una roca sedimentaria. Finalmente, el estrato se puede notar que es un suelo poco permeable, se puede inferir que es una roca sedimentaria intercalada de lutitas, de acuerdo con los resultados de los autores (León y Zavaleta, 2022; Tapia, 2024).

En el Perfil 07, el estrato uno se caracterizó por un suelo muy permeable, y espesores que varían de 30 - 60 m. Es notable la discontinuidad de estrato por la presencia del escarpe del deslizamiento dos que dicho perfil atravesó perpendicularmente; Asimismo, el estrato dos se caracteriza como un suelo permeable, y espesores que varían de 95 - 175 m, asimismo, a 20 m se puede notar suelos con potencial eléctrico altas que se infiere a una roca sedimentaria fracturada. Finalmente, el estrato tres se puede notar que es un suelo poco permeable, infiriéndose y caracterizándose que presenta una roca sedimentaria intercalada de lutitas,

asimismo un posible flujo de agua, de acuerdo con los resultados de los autores (León y Zavaleta, 2022; Tapia, 2024).

En las investigaciones nacionales e internacionales, registraron variaciones en los valores de potencial eléctrico, las cuales se correlacionan con la presencia de posibles zonas saturadas, intercalaciones de subunidades litológicas y probables planos de falla. Estos resultados muestran similitud con los autores (Bon et al., 2022; Imani et al., 2021; Manyakaidze et al., 2024; Perrone et al., 2021; Rodríguez y Ruiz, 2021) quienes señalan que los ensayos electromagnéticos y eléctricos son ampliamente utilizados para la detección de anomalías en el subsuelo, zonas saturadas, además para una buena interpretación y depende de la capacidad técnica del especialista.

4.2.4 Discusión de los resultados registrados de los perfiles sísmicos

a) Ensayo de refracción sísmica

En el perfil LRS-01, los primeros 6.00 m presentan velocidades entre 300 hasta 593 m/s, que se caracterizó como suelo meteorizado. Este estrato superficial se describió por ser poco consolidado y con alta permeabilidad, condiciones que pueden favorecer la infiltración y acumulación de agua por la intercalación de arcillas y fragmentos líticos, mostrando similitud con la investigación de (Tapia, 2024). A partir de los rangos de profundidades de 7.01 - 15.00 m, los valores de las velocidades se incrementan progresivamente hasta 894.28 m/s, clasificándose como grava o arena seca.

En el perfil LRS-02, los primeros 2.31 m se caracterizó como suelo meteorizado, y velocidades de hasta 606.55 m/s. Entre los 3.71 - 7.01 m, los valores de velocidades llegó hasta 907 m/s, identificándose como grava o arena seca, lo que indica una mayor compactación en comparación con el perfil LRS 01. Posteriormente, a partir de los 8.00 m de profundidad, se presentan velocidades mayores a 981.63 m/s, clasificándose como arcilla saturada. Por último,

desde los 10.00 - 15.00 m se registran valores de hasta 1306.18 m/s, correspondientes a arena saturada.

En el LRS-03, los primeros 1.07 m presentan suelo meteorizado, con velocidades de 300 a 556.57 m/s. Entre las profundidades de 2.31 - 5.27 m predominan las gravas y arenas secas, con velocidades que alcanzan hasta 888.37 m/s, lo que refleja un mayor grado de compactación en comparación con los dos perfiles anteriores. A partir de los 6.00 - 8.90 m se identifican velocidades de 962.78 hasta 1068.48 m/s, clasificadas como arcilla saturada. Finalmente, entre 10.00 y 15.00 m reporta velocidades superiores a 1126.63 m/s, correspondientes a arena saturada.

En síntesis, la zona 1 según la normativa ASTM D5777, presenta los siguientes tipos de suelos: suelo meteorizado, grava o arena seca, arcilla saturada y arena saturada.

En el LRS 04 se observa que desde la superficie hasta 1.07 m el material corresponde a un suelo meteorizado, con velocidades que varían de 300.00 - 607.54 m/s. A los 2.31 m se identifica un cambio hacia grava o arena seca con velocidades de 625.25 m/s, condición que se mantiene hasta 7.01 m con valores que van incrementándose desde 633.58 - 832.40 m/s. A los 8.00 m aparece un estrato de arcilla saturada con velocidades de 934.61 m/s, a los 15.00 m se consolida el estrato de arcilla saturada con una velocidad de 1217.12 m/s.

En el LRS 05, los primeros 4.00 m corresponden a suelo meteorizado, con velocidades dentro de los rangos de 300.00 hasta 550.84 m/s. A los 5.27 - 8.00 m se evidencia la presencia de grava o arena seca con velocidades de 628.28 hasta 878.33 m/s. Continuando la estratigrafía desde los 8.90 - 15.00 m, el perfil refleja el paso hacia un estrato de arcilla saturada, con velocidades que van desde 957.30 hasta 1215.44 m/s en el nivel más profundo.

En el LRS 06, los primeros 7.01 m están compuestos principalmente por suelo meteorizado, con velocidades que parten de 300.00 hasta 475.02 m/s. Entre los 6.00 - 8.90 m se detectó la presencia de grava o arena seca, con velocidades que varían de 521.21 - 735.98

m/s. A los 10.00 m este estrato aún se mantiene con un valor de 855.98 m/s, y finalmente, a los 15.00 m se indica el cambio hacia un estrato de arcilla saturada con una velocidad de 1153.94 m/s.

En síntesis, la zona 2 según la normativa ASTM D5777, presenta los siguientes tipos de suelos: suelo meteorizado, grava o arena seca, arcilla saturada y arena saturada.

En el LRS-07, en los primeros 4.00 de profundidad es evidente el suelo meteorizado, con velocidades que inician en 300.00 - 575.61 m/s. A partir de los 5.27 m se identifica la presencia de grava o arena seca, con velocidades de 641.03 hasta 864.21 m/s a los 7.01 m. Posteriormente, a los 8.00 m se evidencia un estrato de arcilla saturada con velocidad de 1003.04 hasta 1141.87 m/s a los 8.90 m. Entre los 10.00 - 15.00 m aparece un estrato de arena saturada, mostrando velocidades de 1271.70 hasta 1615.22 m/s en la mayor profundidad.

En el LRS-08, en los primeros 4.00 m predomina el suelo meteorizado, con velocidades que van desde 300.00 hasta 552.39 m/s. continuando, se presenta un cambio hacia grava o arena seca entre los 7.01 - 8.90 m, con valores de 635.00 hasta 866.46 m/s respectivamente. A los 10.00 m se evidenció un estrato de arcilla saturada con velocidades de 1027.54 m/s, que entrelaza hacia un estrato de arena saturada a los 15.00 m con un valor elevado de 1533.87 m/s.

En el LRS - 09, en los primeros 8.00 m se encuentra un dominio de suelo meteorizado, con velocidades de 300.00 hasta 605.17 m/s. Entre los 8.90 - 10.00 m se presenta un cambio hacia grava o arena seca, con valores que aumentan de 565.61 hasta 798.94 m/s. Por último, a los 15.00 m se registra un estrato de arcilla saturada con un registro de 1098.97 m/s.

En síntesis, la zona 3 según la normativa ASTM D5777, presenta los siguientes tipos de suelos: suelo meteorizado, grava o arena seca, arcilla saturada y arena saturada.

El LRS 10, la estratigrafía inicia con una un estrato de suelo meteorizado de velocidad 376.00 m/s. A partir de los 1.07 m hasta los 2.31 m se presenta un cambio hacia arcilla saturada, con valores de 1090.23 - 1120.30 m/s respectivamente. Entre los 3.71 m y los 8.90 m

predomina un estrato de arena saturada, con velocidades que varían desde 1227.66 hasta 1785.70 m/s, lo que refleja un material más denso y consolidado. Posteriormente, a los 10.00 – 15.00 se registra nuevamente un estrato de arcilla saturada con velocidades de 1902.81 hasta 2459.10 m/s dentro del mismo tipo de estratigrafía.

El LRS-11, la estratigrafía inicia con una un estrato de suelo meteorizado de velocidad 301.00 m/s. Desde los 1.07 - 4.00 m se caracterizó un espesor importante de arcilla saturada, con velocidades que oscilan entre 992.12 hasta 1180.99 m/s. Entre los 5.27 - 8.00 m se reconoce la presencia de grava o arena seca, con valores que van desde 1343.80 hasta 1686.63 m/s, concluyendo en un material granular más compacto. A los 8.90 - 15.00 m ocurre un cambio hacia arcilla saturada con un valor de 1915.31 hasta 2780.11 m/s.

En síntesis, la zona 4 según la normativa ASTM D5777, presenta los siguientes tipos de suelos: suelo meteorizado, grava o arena seca, arcilla saturada y arena saturada.

b) Ensayo de MASW-1D

En el perfil MASW-01 se caracterizaron en tres secciones estratigráficas, tal como se presenta en los resultados. En función de la NTP E.030, se identificaron dos tipos de suelos en dicho perfil. En el rango de 0.00 - 23.74 m, las velocidades secundarias varían entre 272.96 - 461.12 m/s, lo que corresponde a suelos intermedios. En el rango de profundidades comprendido entre 25.00 - 30.00 m, las velocidades se incrementan progresivamente desde 527.34 hasta 552.00 m/s, clasificándose como roca o suelos muy rígidos. En síntesis, a 30 m de profundidad, el perfil MASW-01 se clasifica, según la NTP E.030, como suelos intermedios (S2), sin embargo, de acuerdo con la normativa IBC-2015 corresponde a la categoría de suelo muy denso o roca blanda (C).

En el perfil MASW-02 se caracterizaron en tres secciones estratigráficas, tal como se presenta en los resultados. En función de la NTP E.030, se identificaron dos tipos de suelos en dicho perfil. En el rango de 0.00 - 18.13 m, las velocidades secundarias varían entre 235.18 -

475.70 m/s, lo que corresponde a suelos intermedios. En el rango de profundidades comprendido entre 20.85 - 30.00 m, las velocidades se incrementan progresivamente desde 519.21 hasta 614.98 m/s, clasificándose como roca o suelos muy rígidos. En síntesis, a 30 m de profundidad, el perfil MASW-02 se clasifica, según la NTP E.030, como suelos intermedios (S2), sin embargo, de acuerdo con la normativa IBC-2015 corresponde a la categoría de suelo muy denso o roca blanda (C).

En el perfil MASW-03 se caracterizaron en tres secciones estratigráficas, tal como se presenta en los resultados. En función de la NTP E.030, se identificaron dos tipos de suelos en dicho perfil. En el rango de 0.00 - 15.58 m, las velocidades secundarias varían entre 333.97 - 479.90 m/s, lo que corresponde a suelos intermedios. En el rango de profundidades comprendido entre 18.13 - 30.00 m, las velocidades se incrementan progresivamente desde 522.07 hasta 625.41 m/s, clasificándose como roca o suelos muy rígidos. En síntesis, a 30 m de profundidad, el perfil MASW-03 se clasifica, según la NTP E.030, como suelos intermedios (S2), sin embargo, de acuerdo con la normativa IBC-2015 corresponde a la categoría de suelo muy denso o roca blanda (C).

En el perfil MASW-04 se caracterizaron en tres secciones estratigráficas, tal como se presenta en los resultados. En función de la NTP E.030, se identificaron dos tipos de suelos en dicho perfil. En el rango de 0.00 - 10.96 m, las velocidades secundarias varían entre 382.00 - 494.09 m/s, lo que corresponde a suelos intermedios. En el rango de profundidades comprendido entre 13.19 - 30.00 m, las velocidades se incrementan progresivamente desde 509.47 hasta 685.03 m/s, clasificándose como roca o suelos muy rígidos. En síntesis, a 30 m de profundidad, el perfil MASW-04 se clasifica, según la NTP E.030, como suelos intermedios (S2), sin embargo, de acuerdo con la normativa IBC-2015 corresponde a la categoría de suelo muy denso o roca blanda (C).

En el perfil MASW-05 se caracterizaron en tres secciones estratigráficas, tal como se presenta en los resultados. En función de la NTP E.030, se identificaron dos tipos de suelos en dicho perfil. En el rango de 0.00 - 23.74 m, las velocidades secundarias varían entre 257.30 - 485.39 m/s, lo que corresponde a suelos intermedios. En el rango de profundidades comprendido entre 25 - 30.00 m, las velocidades se incrementan progresivamente desde 536.14 hasta 554.57 m/s, clasificándose como roca o suelos muy rígidos. En síntesis, a 30 m de profundidad, el perfil MASW-05 se clasifica, según la NTP E.030, como suelos intermedios (S2), sin embargo, de acuerdo con la normativa IBC-2015 corresponde a la categoría de suelo muy denso o roca blanda (C).

En el perfil MASW-06 se caracterizaron en tres secciones estratigráficas, tal como se presenta en los resultados. En función de la NTP E.030, se identificaron dos tipos de suelos en dicho perfil. En el rango de 0.00 - 13.19 m, las velocidades secundarias varían entre 214.33 - 474.80 m/s, lo que corresponde a suelos intermedios. En el rango de profundidades comprendido entre 15.58 - 30.00 m, las velocidades se incrementan progresivamente desde 515.84 hasta 604.32 m/s, clasificándose como roca o suelos muy rígidos. En síntesis, a 30 m de profundidad, el perfil MASW-06 se clasifica, según la NTP E.030, como suelos intermedios (S2), sin embargo, de acuerdo con la normativa IBC-2015 corresponde a la categoría de suelo muy denso o roca blanda (C).

En el perfil MASW-07 se caracterizaron en tres secciones estratigráficas, tal como se presenta en los resultados. En función de la NTP E.030, se identificaron dos tipos de suelos en dicho perfil. En el rango de 0.00 - 20.85 m, las velocidades secundarias varían entre 261.94 - 496.44 m/s, lo que corresponde a suelos intermedios. En el rango de profundidades comprendido entre 23.74 - 30.00 m, las velocidades se incrementan progresivamente desde 530.16 hasta 610.67 m/s, clasificándose como roca o suelos muy rígidos. En síntesis, a 30 m de profundidad, el perfil MASW-07 se clasifica, según la NTP E.030, como suelos intermedios

(S2), sin embargo, de acuerdo con la normativa IBC-2015 corresponde a la categoría de suelo muy denso o roca blanda (C).

En el perfil MASW-08 se caracterizaron en tres secciones estratigráficas, tal como se presenta en los resultados. En función de la NTP E.030, se identificaron dos tipos de suelos en dicho perfil. En el rango de 0.00 – 30.00 m, las velocidades secundarias varían entre 202.17 - 482.47 m/s, lo que corresponde a suelos intermedios. En síntesis, a 30 m de profundidad, el perfil MASW-08 se clasifica, según la NTP E.030, como suelos intermedios (S2), sin embargo, de acuerdo con la normativa IBC-2015 corresponde a la categoría de suelo rígido (D).

En el perfil MASW-09 se caracterizaron en tres secciones estratigráficas, tal como se presenta en los resultados. En función de la NTP E.030, se identificaron dos tipos de suelos en dicho perfil. En el rango de 0.00 – 30.00 m, las velocidades secundarias varían entre 199.62 - 485.51 m/s, lo que corresponde a suelos intermedios. En síntesis, a 30 m de profundidad, el perfil MASW-09 se clasifica, según la NTP E.030, como suelos intermedios (S2), sin embargo, de acuerdo con la normativa IBC-2015 corresponde a la categoría de suelo rígido (D).

En el perfil MASW-10 se caracterizaron en tres secciones estratigráficas, tal como se presenta en los resultados. En función de la NTP E.030, se identificaron dos tipos de suelos en dicho perfil. En el rango de 0.00 - 30.00 m, las velocidades secundarias varían entre 560.57 - 877.08 m/s, lo que corresponde a roca o suelos muy rígidos. En síntesis, a 30 m de profundidad, el perfil MASW-10 se clasifica, según la NTP E.030, como roca o suelos muy rígidos (S1), sin embargo, de acuerdo con la normativa IBC-2015 corresponde a la categoría de suelo muy denso o roca blanda (C).

En el perfil MASW-11 se caracterizaron en tres secciones estratigráficas, tal como se presenta en los resultados. En función de la NTP E.030, se identificaron dos tipos de suelos en dicho perfil. En el rango de 0.00 - 3.71 m, las velocidades secundarias varían entre 428.49 - 491.58 m/s, lo que corresponde a suelos intermedios. En el rango de profundidades

comprendido entre 5.27 - 30.00 m, las velocidades se incrementan progresivamente desde 502.80 hasta 936.91 m/s, clasificándose como roca o suelos muy rígidos. En síntesis, a 30 m de profundidad, el perfil MASW-11 se clasifica, según la NTP E.030, como roca o suelos muy rígidos (S1), sin embargo, de acuerdo con la normativa IBC-2015 corresponde a la categoría de suelo muy denso o roca blanda (C).

En los ámbitos nacional e internacional, los autores (Guzmán, 2022; Harba et al. 2019; Hussain et al., 2020; Perrone et al., 2021; Sarkar et al., 2021); indican que el análisis de las ondas de corte nos permite caracterizar posibles compacidades del subsuelo, en concordancia con los estudios, los resultados de la presente investigación presentan similitud con la investigación, en base a sus velocidades presenta suelos con intercalaciones de arcillas y pequeños fragmentos líticos de arenisca, de compacidad rígida, asimismo se identificaron rocas fracturadas.

Sarkar et al. (2021) reportaron en su investigación la presencia de suelos compuestos por arenas, arenas arcillosas, gravas y capas de lutitas. Este resultado presenta similitud con los hallazgos de la presente investigación, en la que también se evidencian intercalaciones de lutitas, lo que permite establecer una concordancia litológica en la composición de los materiales analizados, aun cuando los estudios de referencia se desarrollaron en el continente asiático. Los autores (Pinto y Cubas, 2021) identificaron suelos tipo S1 y S2, mientras que (Merma, 2021; Medina, 2022) reportaron suelos tipo S2. El sector Lagunas presenta una clasificación similar a la de estudios previos, pese a haberse realizado fuera del área de estudio.

Tabla 44*Clasificación sísmica del Suelo – Sector Lagunas*

Zona	Sondaje	Prof. (m)	Vs30 (m/s)	T₀ (s)	IBC 2015	Norma E-030	Descripción (E-030)	Descripción (IBC - 2015)
1	MASW 01	30	367.13	0.33	367.13	367.13	Suelos Intermedios (S2)	Suelo muy denso o roca blanda (C)
	MASW 02	30	372.33	0.32	372.33	372.33	Suelos Intermedios (S2)	Suelo muy denso o roca blanda (C)
	MASW 03	30	438.81	0.27	438.81	438.81	Suelos Intermedios (S2)	Suelo muy denso o roca blanda (C)
2	MASW 04	30	417.28	0.29	417.28	417.28	Suelos Intermedios (S2)	Suelo muy denso o roca blanda (C)
	MASW 05	30	365.53	0.33	365.53	365.53	Suelos Intermedios (S2)	Suelo muy denso o roca blanda (C)
	MASW 06	30	366.04	0.33	366.04	366.04	Suelos Intermedios (S2)	Suelo muy denso o roca blanda (C)
3	MASW 07	30	411.45	0.29	411.45	411.45	Suelos Intermedios (S2)	Suelo muy denso o roca blanda (C)

	MASW-08	30	317.42	0.38	317.42	317.42	Suelos Intermedios (S2)	Suelo Rígido (D)
	MASW-09	30	329.30	0.36	329.30	329.30	Suelos Intermedios (S2)	Suelo Rígido (D)
4	MASW-10	30	626.02	0.19	626.02	626.02	Roca o suelos muy rígidos (S1)	Suelo muy denso o roca blanda (C)
	MASW-11	30	647.83	0.19	647.83	647.83	Roca o suelos muy rígidos (S1)	Suelo muy denso o roca blanda (C)

Nota. Clasificación sísmica del suelo de acuerdo a la norma E.030 y la IBC 2015, además de la velocidad Vs30 y el periodo fundamental del suelo (To).

c) Ensayo MASW-2D

El perfil 01 del ensayo MASW - 2D, su estratigrafía en función de la NTP E.030, son los siguientes: el estrato uno y dos se clasificaron como suelos intermedios; además, la parte final del segundo estrato se infiere a una roca o suelos muy rígidos, velocidades que varió desde 399 hasta 514 m/s, finalmente el tercer estrato se describe a una roca o suelos muy rígidos con velocidades desde 514 hasta 658 m/s.

El perfil 02 del ensayo MASW - 2D, su estratigrafía en función de la NTP E.030, son los siguientes: el estrato uno, dos y tres se clasificaron como suelos intermedios; además, la parte final del último se infiere a una roca o suelos muy rígidos, velocidades que varió desde 218 hasta 508 m/s.

El perfil 03 del ensayo MASW - 2D, su estratigrafía en función de la NTP E.030, son los siguientes: el estrato uno y dos se clasificaron como suelos intermedios; además, la parte final del segundo estrato se infiere a una roca o suelos muy rígidos, dichas velocidades variaron desde 183 hasta 331 m/s, Finalmente el tercer estrato se describe a una roca o suelos muy rígidos con velocidades desde 529 hasta 627 m/s.

d) Parámetros elásticos del suelo

Al analizar los parámetros elásticos del suelo en el sector Lagunas, se obtuvieron los siguientes resultados por zonas:

En la zona uno, los valores mínimo y máximo del módulo de corte son de 1274.19 hasta 2256.76 kg/cm², mientras que el módulo de Young varía de 3370.65 hasta 6419.50 kg/cm² y el módulo volumétrico está dentro de los valores de 3893.20 hasta 15224.20 kg/cm².

En la zona dos, los valores mínimo y máximo del módulo de corte son de 1294.79 hasta 2955.30 kg/cm², mientras que el módulo de Young varía de 3227.78 hasta 8189.55 kg/cm² y el módulo volumétrico está dentro de los valores de 2255.44 hasta 13636.72 kg/cm².

En la zona tres, los valores mínimo y máximo del módulo de corte son de 897.33 hasta 2137.67 kg/cm², mientras que el módulo de Young varía de 2237.68 hasta 6133.92 kg/cm² y el módulo volumétrico está dentro de los valores de 1527.64 hasta 19377.20 kg/cm².

En la zona cuatro, los valores mínimo y máximo del módulo de corte son de 3847.09 hasta 6535.16 kg/cm², mientras que el módulo de Young varía de 10585.35 hasta 19051.56 kg/cm² y el módulo volumétrico está dentro de los valores de 15663.58 hasta 75831.88 kg/cm². El suelo presenta los valores más altos del sector Lagunas, debido a la poca presencia de puntos de agua, y una relación directa con la saturación de los estratos, así como a la influencia de la Formación Celendín y el poco contacto del agua con las arcillas meteorizadas, finalmente concluyendo como un suelo inestable por la geología (presencia e intercalación de arcillas).

En la investigación realizada en la ciudad de Chota según Medina (2022), se observa en los tendidos sísmicos los registros mínimos y máximos de su área investigada respecto al módulo de corte con un valor de inicio 284.00 kg/cm^2 ; sin embargo, en la zona de estudio tiene un valor de inicio mayor a medida que aumenta la profundidad los valores crecen lentamente. En cambio, en la investigación por (Medina, 2022), el estudio empieza con valores bajos, a pesar de ello, va creciendo progresivamente hasta llegar a 5621.00 kg/cm^2 , siendo mayor que las zonas de estudio 1 2 y 3 pero menor que la zona 4; no obstante, la inestabilidad del terreno se asocia principalmente a la presencia o intercalación de capas arcillosas y posible flujo subterráneo.

El módulo de Young tiene un valor de inicio 788 kg/cm^2 , pero con respecto en la zona de estudio este es mayor, sin embargo, en la zona de estudio tiene un valor de inicio mayor a medida que aumenta la profundidad los valores crecen lentamente. En cambio, en la investigación por (Medina, 2022) el estudio empieza con valores bajos, a pesar de ello, va creciendo progresivamente hasta llegar a 13233.00 kg/cm^2 , siendo mayor que las zonas de estudio 1 2 y 3 pero menor que la zona 4, no obstante, la inestabilidad del terreno se asocia principalmente a la presencia o intercalación de capas arcillosas y posible flujo subterráneo.

El módulo volumétrico registró un valor inicial de 1126.00 kg/cm^2 ; sin embargo, en la zona de estudio este valor inicial es mayor. A lo largo de la profundidad, los valores se mantienen relativamente con un crecimiento menor, mientras que en la investigación de (Medina, 2022) los valores iniciales son bajos, pero aumentan progresivamente hasta alcanzar 40994.00 kg/cm^2 . Estos valores resultan superiores a los obtenidos en las zonas 1, 2 y 3, aunque menor que en la zona 4; no obstante, la inestabilidad del terreno se asocia principalmente a la presencia o intercalación de capas arcillosas y posible flujo subterráneo.

4.3 Contratación de la hipótesis

Los resultados obtenidos demostraron que la aplicación combinada de los Métodos geofísicos (LRS, MASW, MASW-2D) y geomagnéticos (MSFCEN) permitió obtener la caracterización integral de los deslizamientos en el sector Lagunas. Considerando las particularidades de la zona, se logró identificar áreas activas y en proceso de reactivación en la masa deslizante; además, se distinguieron los tipos de deslizamiento. Con los estudios geofísicos se evaluaron las propiedades del subsuelo, registrando V_p y V_s , para su clasificación sísmica de la zona según la normativa ASTM D5777, IBC y NTP E.030; del mismo modo, se obtuvieron valores de potencial eléctrico en base a los perfiles geomagnéticos, mostrando la saturación de los suelos. En consecuencia, la hipótesis general se acepta parcialmente, porque se confirmó el carácter rotacional de los deslizamientos y se identificaron lecturas MSFCEN dentro del intervalo planteado; sin embargo, se rechazaron la condición de inactividad, la clasificación general como suelo S3 y el predominio de velocidades de onda de corte menores de 180 m/s. Por tanto, los resultados no permiten aceptar totalmente la hipótesis de investigación ni confirmar íntegramente la hipótesis nula.

El análisis de campo mostró que el deslizamiento 1A se encuentra activo, evidenciándose en la inclinación de árboles; mientras que el área del deslizamiento 1(B), se activó en el año 2021, actualmente está en proceso de reactivación, en el caso del deslizamiento dos, está activo debido a la socavación y erosión del pie del deslizamiento producida por la quebrada Potrera. Por tanto, la primera hipótesis específica se rechaza totalmente, debido a que los deslizamientos 1A y 2 fueron clasificados como activos, mientras que el deslizamiento 1B se encuentra en proceso de reactivación; en consecuencia, ninguno de los deslizamientos evaluados presentó una condición de inactividad.

Los resultados de campo mostraron que el deslizamiento rotacional: deslizamiento 1(A) y 1(B), presentan morfología cóncava hacia arriba, escarpes definidos y áreas de acumulación

bien marcadas, además suelos con anegamiento permanente (presencia de flujo subterráneo). En el caso del deslizamiento 1(A), se identificaron signos de reptación (inclinación de árboles) en la parte suroeste respecto a la Laguna, y derrumbes activos al norte. En el caso del deslizamiento dos con menor magnitud, también se clasifica como rotacional. Por lo tanto, la hipótesis se acepta, confirmándose que los deslizamientos en el sector Lagunas son de tipo rotacional.

Los resultados de los perfiles geomagnéticos MSFCEN se caracterizaron en tres estratigrafías con potencias variables, el primer estrato registró valores dentro de los rangos planteados, caracterizándose como suelo húmedo, en el caso del estrato segundo y tercero se infiere la presencia suelo permeable y poco permeable respectivamente. Los dos últimos estratos mostraron valores de potencial eléctrico superiores a los esperados, indicando la presencia de suelos con menor contenido de humedad.

Los estudios mostraron las intercalaciones de las subunidades, además suelos húmedos dentro de los estratos segundo y tercero, favoreciendo la inestabilidad y aumentando el peligro al sector. Si bien las conductividades no se mantuvieron estrictamente dentro del rango planteado (0 - 0.3 mV), la presencia de puquios y la laguna confirma la posibilidad de acumulación de humedad y activación de movimientos de masa. Por tanto, la hipótesis se acepta parcialmente, confirmando las características encontradas en el subsuelo con valores aún superiores de lo esperado.

Los resultados de LRS, MASW y MASW-2D, presentaron velocidades de onda de superiores a 180 m/s tanto en velocidades primarias, con valores mínimos de 300 m/s y máximos cercanos a 3149 m/s, sumándose las velocidades secundarias con valores mínimos de 200 m/s y máximos cercanos a 937 m/s. Esto permitió identificar suelos S1 y S2, según la NTP E.030 y en función al IBC Suelos C y D, indicando un mayor valor sísmico. En consecuencia, la hipótesis se rechaza, ya que los valores registrados superan los umbrales establecidos para

suelos tipo S3, demostrando que en la mayoría de la zona de investigación los suelos pertenecen a suelo tipo S2. Asimismo, según la ASTM D5777, se caracterizó como: suelo meteorizado, arena saturada, grava o arena seca y arcilla saturada.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La caracterización integrada de los deslizamientos del sector Lagunas, mediante el análisis geológico y geomorfológico, la refracción sísmica, MASW-1D, MASW-2D y MSFCEN, permitió comprobar parcialmente las características planteadas en la hipótesis general. Se determinó que los deslizamientos 1A y 2 se encuentran activos, mientras que el deslizamiento 1B está en proceso de reactivación, por lo que no se confirmó la condición de inactividad propuesta inicialmente. En cuanto al tipo de movimiento, los tres deslizamientos fueron clasificados como rotacionales debido a la presencia de escarpes definidos, superficies de ruptura cóncavas y zonas de acumulación. Los perfiles MSFCEN identificaron lecturas de 0,00 a 0,10 mV, de 0,10 a 0,45 mV y mayores de 0,45 mV hasta una profundidad estimada de 300 m, evidenciando zonas asociadas con suelos saturados, aunque los resultados no se limitaron al intervalo de 0 a 0,3 mV. Asimismo, los estudios sísmicos definieron principalmente tres estratos hasta los 25 m de profundidad, con velocidades de onda de corte entre 200 y 937 m/s en MASW-1D y entre 183 y 658 m/s en MASW-2D; por ello, los suelos fueron clasificados predominantemente como S1 y S2 según la Norma Técnica E.030, y no como S3. En conjunto, la actividad de los movimientos, la presencia de zonas con indicios de saturación, la heterogeneidad estratigráfica y la erosión localizada en el pie evidencian una elevada susceptibilidad del sector frente a nuevos desplazamientos, especialmente durante los períodos de precipitaciones intensas. En consecuencia, la hipótesis general se acepta parcialmente. En consecuencia, la hipótesis general se acepta parcialmente.

- El análisis de la evolución del terreno, las observaciones realizadas en campo y las evidencias geomorfológicas permitieron determinar que los deslizamientos del sector Lagunas no se encuentran inactivos. Los deslizamientos 1A y 2 fueron clasificados como activos, mientras que el deslizamiento 1B se encuentra en

proceso de reactivación después del evento registrado en 2021. Esta condición se sustenta en la presencia de escarpes, grietas tensionales, árboles inclinados, deformaciones superficiales y procesos de erosión y socavación en el pie de los movimientos. En consecuencia, la primera hipótesis específica se rechaza totalmente, debido a que ninguno de los deslizamientos evaluados presentó una condición de inactividad.

- Los deslizamientos 1A, 1B y 2 fueron clasificados como movimientos de tipo rotacional. Esta clasificación se sustenta en la presencia de escarpes principales definidos, superficies de ruptura con tendencia cóncava, zonas de hundimiento y acumulación de material en el pie, además de grietas tensionales y deformaciones asociadas con la reptación. La disposición de estos rasgos indica que las masas se desplazan alrededor de superficies de falla curvas. Por tanto, la segunda hipótesis específica se acepta totalmente, porque las características observadas en los tres deslizamientos coinciden con la morfología de un movimiento rotacional.
- Los siete perfiles obtenidos mediante MSFCEN permitieron diferenciar tres intervalos principales de potencial eléctrico: de 0,00 a 0,10 mV, de 0,10 a 0,45 mV y mayores de 0,45 mV, hasta una profundidad estimada de 300 m. Las lecturas más bajas fueron asociadas, mediante su correlación con la geología y las evidencias de campo, con zonas de mayor humedad o saturación; mientras que los valores intermedios y altos fueron relacionados con cambios en la permeabilidad y el contenido de humedad de los materiales. También se identificaron variaciones laterales y verticales que podrían estar vinculadas con discontinuidades del subsuelo. En consecuencia, la tercera hipótesis específica se acepta parcialmente, porque se reconocieron zonas saturadas con lecturas dentro del intervalo de 0 a 0,3 mV, pero también se registraron valores superiores a dicho límite.

- Los ensayos de refracción sísmica, MASW-1D y MASW-2D permitieron identificar principalmente tres estratos hasta los 25 m de profundidad. La refracción sísmica registró velocidades de onda primaria entre 300 y 3149 m/s, mientras que los ensayos MASW-1D registraron velocidades de onda de corte entre 200 y 937 m/s y los perfiles MASW-2D entre 183 y 658 m/s. De acuerdo con la Norma Técnica E.030, los suelos fueron clasificados principalmente como S1 y S2; según el IBC, correspondieron principalmente a las clases C y D. Por tanto, la cuarta hipótesis específica se rechaza totalmente, porque las velocidades de onda de corte fueron mayoritariamente superiores a 180 m/s y no se obtuvo una clasificación general S3.

5.2 Recomendaciones

Debido a que los resultados evidenciaron deslizamientos activos o en proceso de reactivación, zonas asociadas con saturación y una estratigrafía sísmica más rígida y heterogénea que la planteada inicialmente, así como la falta de información referente a los sondeos geofísicos, se plantean las siguientes recomendaciones:

Implementar un programa integral de monitoreo en el sector Lagunas. Este programa deberá priorizar el seguimiento de los deslizamientos 1A, 1B y 2 mediante puntos permanentes de control topográfico, fotogrametría periódica, medición de precipitaciones y vigilancia de la erosión ocasionada por la quebrada Potrera. Asimismo, se recomienda verificar las anomalías identificadas mediante MSFCEN con tomografía de resistividad eléctrica, piezómetros o perforaciones exploratorias, y complementar la interpretación sísmica con ensayos geotécnicos directos.

- Instalar puntos permanentes de control en la corona, el cuerpo y el pie de los deslizamientos 1A, 1B y 2. Estos puntos deberán ser monitoreados mediante levantamientos topográficos, fotogrametría con drones y, cuando sea posible, tecnología LiDAR. El seguimiento debe intensificarse durante la temporada de precipitaciones para reconocer oportunamente cambios en la dirección o velocidad del movimiento. Asimismo, la aplicación integrada de métodos geofísicos y geotécnicos en otras zonas de Chota susceptibles a movimientos en masa, con el propósito de generar información preventiva para el ordenamiento territorial y la planificación de obras.
- Así como desarrollar un análisis geotécnico de estabilidad independiente para cada deslizamiento, incorporando la geometría de las posibles superficies curvas de falla, las propiedades resistentes de los materiales y la influencia de las zonas saturadas. Este análisis permitirá evaluar medidas de intervención, como drenajes superficiales

y subterráneos, protección del pie frente a la erosión y restricciones de uso en los sectores con mayor inestabilidad.

- También se recomienda complementar los perfiles MSFCEN con métodos que permitan verificar la distribución de la humedad y la saturación, como la tomografía de resistividad eléctrica 2D o 3D, métodos electromagnéticos y la instalación de piezómetros. También se recomienda realizar mediciones en temporada seca y lluviosa para evaluar la variación temporal de las zonas saturadas y su relación con la activación o reactivación de los deslizamientos.
- Validar la estratigrafía interpretada mediante refracción sísmica, MASW-1D y MASW-2D con perforaciones, calicatas y ensayos geotécnicos de campo y laboratorio. La verificación debe concentrarse en los sectores donde se observaron cambios bruscos de velocidad, materiales de menor rigidez, posibles discontinuidades o presencia de humedad. La integración de los resultados directos e indirectos permitirá precisar los espesores y propiedades de los estratos y sustentar futuras medidas de estabilización.
- Como línea futura de investigación, se recomienda evaluar la viabilidad de implementar sistemas de monitoreo continuo, como la detección acústica distribuida mediante fibra óptica, en los sectores con mayor actividad. Asimismo, se sugiere aplicar la metodología integrada de estudios geofísicos y geotécnicos en otras zonas de la provincia de Chota susceptibles a movimientos en masa.

CAPÍTULO VI REFERENCIAS

- Abramson, L., Lee, T., Sharma, S., y Boyce, G. (2002). *Slope stability and stabilization methods*. (2nd ed.). John Wiley y Sons, Inc.
- Ali, L. (2016). *Métodos de prospección geofísica aplicados a la investigación geotécnica para estudio del recrecimiento de una presa de relaves en el distrito de Oyolo* [tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín].
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2808>
- American Society for Testing and Materials, [ASTM D5777]. (2018). *Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation* (ASTM D5777).
<https://store.astm.org/d5777-18.html>
- Ammon, C. (2019). *Seismic waves and Earth's interior*. SLU EAS-A193 Class Notes.
http://eqseis.geosc.psu.edu/cammon/HTML/Classes/IntroQuakes/Notes/waves_and_interior.html
- Barboza, A. (2024). *Factor de seguridad en las laderas del sector Las Lagunas - Chota - Cajamarca con métodos geotécnicos y Software Slide*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7460>
- Bon, A., Ombolo, A., Biboum, P., Moutlen, J., y Mboudou, G. (2022). Identification of hydrogeological features using remote sensing and electromagnetic methods in the hard-rock formations of the Cameroon coastal plain (Central Africa): implications for water borehole location. *Scientific African*, 17, Artículo e01272.
<https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2022.E01272>
- Boulangger, R. E., y Sipión, B. C. D. (2020). Estudio de recursos de rocas y minerales industriales para la inclusión económica social y desarrollo en la región Cajamarca - [Boletín B 68]. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET*.
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2800>

- Chou, R. (2025). *Ondas Sísmicas de Terremotos*. CK-12 Foundation.
<https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-tierra-grados-6-8-en-espanol/section/5.11/primary/lesson/ondas-s%C3%ADsmicas-de-terremotos/>
- Corporación Radiotelevisión Española [RTVE]. (2022). *Ascienden a más de 200 los muertos por las fuertes lluvias en la ciudad brasileña de Petrópolis*.
<https://www.rtve.es/noticias/20220224/muertos-temporal-lluvias-brasil-petropolis/2296040.shtml>
- Cruden, D., y Varnes, D. (1996). Landslide Types and Processes. *Landslide Investigation and Mitigation, (Chapter 3)*. National Academy of Sciences.
<https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr247/sr247.pdf>
- Cruzado, G., y Crisólogo, M. (2011). Estudio Geológico. *Gobierno Regional de Cajamarca. Gerencia Regional de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial 2011*.
<https://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=49766>
- Desonie, D. (2025). *Ondas Sísmicas de Terremotos*. CK-12 Foundation.
<https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-tierra-grados-6-8-en-espanol/section/5.11/primary/lesson/ondas-s%C3%ADsmicas-de-terremotos/>
- Díaz, G., y Farfán, M. (2025). Application of MASW, Microtremor, and Seismic Refraction Tests for Buildings in Vulnerable Communities. *Buildings*, 15 (7).
<https://doi.org/10.3390/BUILDINGS15071079>
- Documento de orientación técnica para la aplicación del monitoreo de aguas subterráneas (TED)* (p. 333). (1986). <https://lmpublicsearch.lm.doe.gov/sitedocs/106525.pdf?utm>
- Ekin, N. (2025). Correlations between resistivity and seismic velocities depending on physical properties of different grain size soils. *Journal of Applied Geophysics*, 242 (105910).
<https://doi.org/10.1016/J.JAPPGEO.2025.105910>

- Georys Ingenieros S.A.C. (2016). *Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)*. Georys Ingenieros S.A.C. <https://www.georys.com/wp-content/uploads/2020/05/Presentacion-masw.pdf>
- González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- Guzmán, M. (2022). *Refracción sísmica y MASW para la caracterización de dos deslizamientos rotacionales en la Carretera Federal 1D, Ensenada, Baja California, México* [tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/3787>
- Harba, P., Pilecki, Z., y Krawiec, K. (2019). Comparison of MASW and seismic interferometry with use of ambient noise for estimation of S-wave velocity field in landslide subsurface. *Acta Geophysica*, 67(6), 1875-1883. <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00344-9>
- Hart, A. (2024). Landslides. *Ciottone's Disaster Medicine*, (3), 640-643. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-80932-0.00104-X>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (6th ed.). Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- Highland, L., y Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides*. United States Geological Survey. https://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325_508.pdf
- Huanca, B., y Flores, R. (2019). *Estudio Geotécnico y Geofísico con Fines de Cimentación para Tres Asociaciones de Vivienda en la Ciudad de Tacna*. [tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/790>
- Hunan Puqi Geologic Exploration Equipment Institute. (2025). <https://www.pqwtes.com/>

- Hussain, Y., Hamza, O., Cárdenas, M., Borges, W., Dou, J., Rebolledo, J., y Prado, R. (2020). Characterization of sobradinho landslide in fluvial valley using masw and ert methods. *REM - International Engineering Journal.*, 73(4), 487–497.
<https://doi.org/10.1590/0370-44672019730109>
- Idrogo, J., y Sagástegui, G. (2022). Accuracy of the digital terrain model (DTM), considering the number of ground support points in a photogrammetric survey applied on the Pampa Grande-Tablazos highway, Chiclayo Province. *ALICIA*.
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.300>
- Imani, P., Abd, A., y Tian, G. (2021). Landslide investigation using seismic refraction tomography method: A review. *Annals of Geophysics*, 64(6).
<https://doi.org/10.4401/AG-8633>
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2024). *INGEMMET*.
<https://portal.ingemmet.gob.pe/web/guest/presentacion>
- International Building Code. (2015). *International Building Code [IBC]*.
https://codes.iccsafe.org/s/IBC2018/chapter-16-structural-design/IBC2018-Ch16-Sec1613.2.2?utm_source
- Jurado, A., y Pérez, R. (2019). *Análisis comparativo de métodos destructivos y no destructivos en la determinación de parámetros geotécnicos para estabilización de un talud en la Costa Verde-Miraflores* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma].
<https://hdl.handle.net/20.500.14138/2786>
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall.
<https://es.scribd.com/document/364223305/Geotechnical-Earthquake-Engineering-Kramer-1996-pdf>
- León, L., y Zavaleta, A. (2022). *Evaluación del deslizamiento rotacional en el sector Lagunas, distrito Chota, provincia Chota, departamento Cajamarca*. Instituto Geológico,

- Minero y Metalúrgico - INGEMMET. Repositorio Institucional INGEMMET.
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3618>
- Lisle, R., Brabham, P., y Barnes, J. (2011). *Basic Geological Mapping* (5th ed). John Wiley y Sons, Ltd.
- Maleki, Z., Wilkinson, P., Chambers, J., Donohue, S., Holmes, J., y Stirling, R. (2025). Geophysical Survey and Monitoring of Transportation Infrastructure Slopes (TISs): A Review. *Geosciences*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/GEOSCIENCES15060220>
- Manyakaidze, P., Musavengane, R., y Simatele, M. (2024). Groundwater development and management constraints in drought prone Chiredzi and Zvishavane Districts, Zimbabwe. *Climate Services*, 34. <https://doi.org/10.1016/J.CLISER.2024.100467>
- Marciniak, A., Kowalczyk, S., Gontar, T., Owoc, B., Nawrot, A., Luks, B., Cader, J., y Majdański, M. (2021). Integrated geophysical imaging of a mountain landslide – A case study from the Outer Carpathians, Poland. *Journal of Applied Geophysics*, 191. <https://doi.org/10.1016/J.JAPPGEO.2021.104364>
- Medina, J., y Ccallo, F. (2016). Análisis Multicanal de las Ondas Superficiales en investigaciones geotécnicas utilizando el método Cross-correlación del punto medio común. *Sociedad Geológica Del Perú*, 1–5. <https://doi.org/https://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/bib/46563>
- Medina, M. (2022). *Evaluación del perfil sísmico del suelo mediante los métodos de refracción sísmica y masw*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <http://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/297>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., y Castillo, R. (2023). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. In *Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú* (1st ed.). Instituto

- Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú.
<https://doi.org/10.35622/INUDI.B.080>
- Méndez, A., y Astudillo, M. (2008). *La investigación en la era de la información*. Editorial Trillas. <https://es.scribd.com/document/375836863/investigacion?utm>
- Merma, R. (2021). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de suelos aplicando el ensayo de refracción sísmica y el método (MASW) en el pueblo Joven Belén Distrito Yauri Espinar-Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión].
<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4949>
- Naranjo, H., y Dranichnikov, T. (2013). *Cálculo de capacidad portante basado en geofísica y método convencional*. Abya-Yala/UPS.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6133>
- Norma Técnica Peruana. (2018). *Diseño Sismorresistente (NTP E.030)*. Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones.
<https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Park, C., Miller, R., Xia, J., y Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)-active and passive methods. *The Leading EDGE*, 60–64.
<http://library.seg.org/>
- Park, C., Miller, R., Xia, J., y Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW)-active and passive methods. *The Leading EDGE*, 60–64.
<http://library.seg.org/>
- Park, C., y Sayers, P. (2025). Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW) Method. *THE JOURNAL*. <https://www.thepwi.org/wp-content/uploads/2025/04/Multi-Channel-Analysis-of-Surface-Waves-MASW-method-2.pdf>

- Pérez, A., y Ruiz, O. (2005). La investigación interdisciplinaria: un análisis FODA y su papel en la investigación agrícola en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 5, 91–99. <https://pagosccba.uady.mx/publicaciones/journal/vol5-3/75-perez.pdf?utm>
- Perrone, A., Canora, F., Calamita, G., Bellanova, J., Serlenga, V., Panebianco, S., Tragni, N., Piscitelli, S., Vignola, L., Doglioni, A., Simeone, V., Sdao, F., y Lapenna, V. (2021). A multidisciplinary approach for landslide residual risk assessment: the Pomarico landslide (Basilicata Region, Southern Italy) case study. *Landslides*, 18, 353–365. <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01526-z>
- Pinto, K., y Cubas, E. (2021). *Evaluación geotécnica para mejorar el diseño de la cimentación de terraplenes en la carretera yurimaguas – munichis, distrito de yurimaguas, provincia de alto amazonas, departamento de Loreto - 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.14503/1194>
- Reynolds, J. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics* (2nd ed). John Wiley y Sons, Ltd. www.wiley.com/go/reynolds/introduction2e
- Rodríguez, M., y Ruiz, M. (2021). Uso del método potencial natural en la exploración de agua subterránea: caso de estudio Hospital de Olanchito. *Revista de La Escuela de Física*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.5377/REF.V9I1.12297>
- Rojas, A. (2019). *Ondas Sísmicas*. Geología - Publicaciones. <https://post.geoxnet.com/glossary/ondas-sismicas/>
- Rojas, I. (2011). Elementos para el diseño de técnicas de investigación: una propuesta de definiciones y procedimientos en la investigación científica. *Tiempo de Educar*, 12, 277–297. <https://www.redalyc.org/pdf/311/311210890006.pdf>
- Salas, M. (2021). *Comparación de la respuesta estructural de una edificación utilizando espectros de diseño probabilísticos y espectros de la normativa vigente para la ciudad*

- de Cajamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].
<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4523>
- Sarkar, R., Kolathayar, S., Drukpa, D., Choki, K., Rai, S., Tshering, S., y Yuden, K. (2021). Near-surface seismic refraction tomography and MASW for site characterization in Phuentsholing, Bhutan Himalaya. *Applied Sciences*, 3(4).
<https://doi.org/10.1007/s42452-021-04347-4>
- Schöpfel, J., Azeroual, O., y Jungbauer, M. (2020). Ética de la investigación, ciencia abierta y CRIS. *Publications*. 8(4). <https://doi.org/10.3390/PUBLICATIONS8040051>
- SeisImager. (2009). *SeisImager/2D Manual*.
https://epsc.wustl.edu/~epsc454/manuals/SeisImager2D_Manual_v3.3.pdf
- Seo, H., Choi, J., Kim, B., Kim, S., Lee, S., Ha, S., Lee, J., y Son, M. (2025). Geophysical investigation of the Quaternary paleo-earthquake evidence using ERT and MASW surveys: A case study along the Yangsan Fault, SE Korea. *Engineering Geology*, 359.
<https://doi.org/10.1016/J.ENGGEOL.2025.108438>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2021). *SENAMHI*.
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-meteorologico>
- Sidle, R., y Ochiai, H. (2006). *Landslides: Processes, Prediction, and Land Use*. (Vol. 18). Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1029/WM018>
- Soleimani, F., Shirani, K., Asgari, S., y Hazbavi, Z. (2024). Landslide detection and monitoring using remote sensing approach. *Remote Sensing of Soil and Land Surface Processes*, 345-355. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15341-9.00002-2>
- Strahler, A., y Strahler, A. (2006). *Introducing Physical Geography*. (4th ed). Wiley
- Tapia, H. (2024). Evaluación de riesgo por fenómeno de remoción en masas en la comunidad de Santa Rosa, provincia de Chota - Cajamarca [Tesis de pregrado, Universidad nacional de Cajamarca]. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6957>

- Terzaghi, K., Ralph, P., y Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (3ra ed). John Wiley y Sons INC.
- The Canadian Geotechnical Society. (1993). *Multilingual Landslide Glossary. The International Geotechnical Societies.* https://www.iaeg.info/wp-content/uploads/2019/01/multilingual-landslide-glossary_1993-version.pdf
- Travelletti, J., Malet, J.-P., Samyn, K., Grandjean, G., y Jaboyedoff, M. (2013). Control of landslide retrogression by discontinuities: Evidence by the integration of airborne- and ground-based geophysical information. *Landslides*, 10, 37-54. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-011-0310-8>
- Turner, A., y Schuster, R. (1996). *Landslides: investigation and mitigation* (Vol. 247). National Academy Press. https://books.google.com.pe/books/about/Landslides.html?id=VjlSAAAAMAAJyredir_esc=y
- Urquiza, C. (2020). *Estudio geofísico por el método de refracción sísmica, MASW 1D, MASW-2D Y MAM para el diseño estructural del Puente Cantuta – Región de Junín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11100>
- Varnes, D. (1978). Slope Movement Types and Processes. *Landslides: Analysis and Control*, (Chapter 2). National Academy of Sciences. <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr176/176.pdf>
- Vieytes, R. (2004). *Metodología de la investigación en organizaciones, mercado y sociedad: epistemología y técnicas.* Buenos Aires: De las ciencias. <https://biblioteca.unfv.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=15039yutm>

- Vilcapoma, L. (2005). *Evolución espacial de los períodos de resonancia y aplicaciones en el análisis mecánico de suelos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://biblioteca.igp.gob.pe/bib/12543>
- Xia, J., Miller, R., y Park, C. (1999). Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves. *Geophysics*, 64(3), 691–700. <https://doi.org/10.1190/1.1444578>
- Xu, Z., Xin, H., Weng, Y., y Li, G. (2023). Hydrogeological Study in Tongchuan City Using the Audio-Frequency Magnetotelluric Method. *Magnetochemistry*. 9(1). <https://doi.org/10.3390/MAGNETOCHEMISTRY9010032>
- Zevallos, A. (2020). *Estudio de la geometría y estructura del subsuelo para la prospección de acuíferos en los términos municipales de Alcalá de los Gazules, San Jorge y Casas del Puerto de Villatoro, España* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://es.scribd.com/document/765480064/Zevallos-fa>
- Zevallos, A., Torres, J., Segura, C., Carrasco, J., y Carrasco, P. (2025). Caracterización geoelectrica de deslizamientos sedimentarios en la zona de Laguna del Amor, Chota-Cajamarca (Perú). *Applied Sciences*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/APP15052327>
- Zhao, G., Lan, H., Yin, H., Li, L., Strom, A., Sun, W., y Tian, C. (2024). Deformation, structure and potential hazard of a landslide based on InSAR in Banbar county, Xizang (Tibet). *China Geology*, 7(2), 203–221. <https://doi.org/10.31035/CG2023130>

CAPÍTULO VII ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Título: Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca, 2024.

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores
Pregunta general: ¿Cuál es la <i>caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de</i>	Objetivo general: Caracterizar geométricamente mediante refracción sísmica, <i>MASW, MASW-2D y MSFCEN</i> de los deslizamientos presentes en el Sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca durante en el año 2024.	Hipótesis general: Los deslizamientos presentes en el sector Lagunas, provincia de Chota, se caracterizan por encontrarse en estado inactivo y ser de tipo rotacional; asimismo, presentan suelos saturados con valores de potencial eléctrico entre 0 y 0,3 mV hasta una profundidad de 300 m, y una estratigrafía sísmica con velocidades de	Desliza mientos	Estado de actividad del deslizamiento	Clasificado según los estados estipulados en el Multilingual Landslide Glossary (1993) y The Canadian Geotechnical Society, 1993

<i>Chota-Cajamarca en el año 2024?</i>	Objetivos específicos:	onda menores de 180 m/s hasta los 25 m de profundidad, determinada mediante perfiles de al menos 100 m de longitud y clasificada como suelo tipo S3 según la Norma Técnica E.030.	Velocidad de propagación de ondas primarias (Vp)	Clasificación del perfil suelo ASTM D5777-18 (2018)
Preguntas específicas	Determinar el estado de activación de los deslizamientos presente en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca en el año 2024.	Hipótesis específica El estado actual de los deslizamientos presentes en el sector Lagunas en Chota es inactivo.	Velocidad de propagación de ondas secundarias (Vs)	Clasificación del perfil del suelo NTP E.030 (2019)
¿Cuál es el tipo de los deslizamientos presentes en el sector Lagunas en Chota?	Determinar los tipos de deslizamientos presente en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca en el año 2024.	La caracterización del deslizamiento, sector Lagunas, tiene un tipo de deslizamiento rotacional.	Frecuencias de potencial eléctrico natural	Se puede estimar según la teoría Hunan Puqi Geological con el manual del equipo PQWT y Rodríguez y Ruíz, (2021)
¿Cuál es la presencia de zonas con indicios de humedad de 0 a 300 metros de profundidad de los deslizamientos	Señalar la presencia de suelos saturados mediante perfiles detección de frecuencias (0 a 300 m de	El sector Lagunas tiene presencia de suelos (saturados) de potencial eléctrico entre los rangos de 0		

presente en el sector Lagunas en Chota? ¿Cuál es la estratigrafía sísmica a 25 metros de profundidad de los deslizamientos en los perfiles con un mínimo de 100 metros lineales, en el sector Lagunas en Chota?	profundidad) de los mV a 0.3 mV, a las profundidades de 0 m a 300 m. deslizamientos presente en el sector Lagunas en Chota. La estratigrafía sísmica del sector Lagunas presenta velocidades de onda menores a 180 m/s en la profundidad de 25 metros y en perfiles de longitud mínima de 100 metros lineales, clasificado según IBC como un tipo D y norma peruana E.030 como suelo S3. Caracterizar la estratigrafía de los perfiles sísmicos a 25 metros de profundidad de los deslizamientos en los perfiles con un mínimo de 100 metros lineales en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca en el año 2024.	Tipo de Deslizamiento Determinando por la clasificación de movimiento de tierra desarrollado por Highland y Bobrowsky (2008)
---	--	--

Nota. Se detalla el resumen general de la investigación

Anexo B. Características de los deslizamientos

	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
	Descripción de Campo			
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA			
Fecha de reporte:	Hora	Día	Mes	Año
	08:00	03	01	2025
Fecha de ocurrencia:	Hora	Día	Mes	Año
	-	-	-	-
Localidad del deslizamiento:	Sector Lagunas			
Grupo reportante:	Tesistas			
Escarpe	Norte	Este	Foto de Escarpe	
Inicio	761442.18	9273939.26		
Fin	761361.49	9273943.18		
		Metros		
Geometría	Longitud	149		
	Ancho	3.13		
	Altitud (escarpes)	4		
Geología-Geomorfología				
Croquis		Descripción		
		Escarpe principal del segundo deslizamiento al costado de la carretera con base en la quebrada, presenta una ruptura bien diferenciada compuesta por material lutítico, representada por una intensa coloración gris y estar cubierta completamente por materia vegetal, presenta alta saturación.		
		Formación	Sí	No
		Formación Chota	X	
		Formación Celendín	X	
		Formación Quilquiñán-Mujarrúm		X
Formación Cajamarca		X		

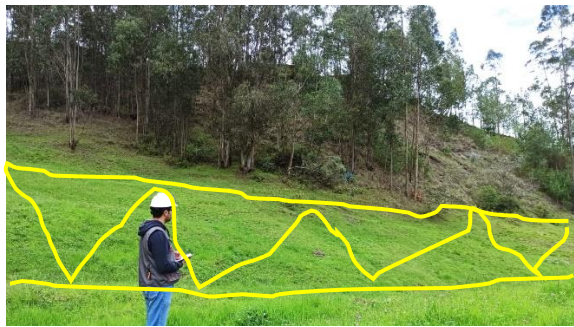
	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
	Descripción de Campo			
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA			
Fecha de reporte:	Hora	Día	Mes	Año
	8:00	10	12	2024
Fecha de ocurrencia:	Hora	Día	Mes	Año
	-	-	-	-
Localidad del deslizamiento:	Sector Lagunas			
Grupo reportante:	Tesisistas			
Escarpe	Norte	Este	Foto de Escarpe	
Inicio	761487.27	9273863.22		
Fin	761567.64	9273907.49		
		Metros		
Geometría	Longitud	63.9		
	Ancho	3.13		
	Altitud (escarpes)	12		
Geología-Geomorfología				
Croquis		Descripción		
		Escarpe de un desprendimiento antiguo al costado de la quebrada, presenta una ruptura bien diferenciada compuesta por material lutítico, representada por una intensa coloración gris, presenta alta saturación.		
			Sí	No
		Formación Chota	X	
		Formación Celendín	X	
		Formación Quilquiñán-Mujarrúm		X
Formación Cajamarca	X			

	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
	Descripción de Campo			
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA			
Fecha de reporte:	Hora	Día	Mes	Año
	10:30	10	12	2024
Fecha de ocurrencia:	Hora	Día	Mes	Año
	-	-	-	-
Localidad del deslizamiento:	Sector Lagunas			
Grupo reportante:	Tesisistas			
Escarpe	Norte	Este	Foto de Escarpe	
Inicio	761587.48	9273782.11		
Fin	761507.69	9273777.81		
		Metros		
Geometría	Longitud	112		
	Ancho	12.1		
	Altitud (escarpes)	5		
Geología-Geomorfología				
Croquis		Descripción		
		Un escarpe secundario del deslizamiento principal del sector lagunas, presenta una ruptura bien diferenciada compuesta por material lutítico, representada por estar cubierta por materia vegetal, además de estar cerca de una captación de agua, presenta alta saturación.		
			Sí	No
		Formación Chota		X
		Formación Celendín	X	
		Formación Quilquiñán-Mujarrúm		X
Formación Cajamarca	X			

	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
	Descripción de Campo			
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA			
Fecha de reporte:	Hora	Día	Mes	Año
	12:30	10	12	2024
Fecha de ocurrencia:	Hora	Día	Mes	Año
	-	-	-	-
Localidad del deslizamiento:	Sector Lagunas			
Grupo reportante:	Tesisistas			
Escarpe	Norte	Este	Foto de Escarpe	
Inicio	761766.69	9273622.66		
Fin	761852.61	9273408.68		
		Metros		
Geometría	Longitud	262		
	Ancho	17.3		
	Altitud (escarpes)	7 (explicar porque 7)		
Geología-Geomorfología				
Croquis		Descripción		
		Una parte de escarpe principal del deslizamiento principal del sector lagunas, presenta una ruptura bien diferenciada compuesta por material lutítico, representada por una intensa coloración gris, además de estar parcialmente cubierto por materia vegetal, presenta alta saturación.		
			Sí	No
		Formación Chota		X
		Formación Celendín	X	
		Formación Quilquiñán-Mujarrúm		X
Formación Cajamarca	X			

	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
	Descripción de Campo			
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA			
Fecha de reporte:	Hora	Día	Mes	Año
	14:30	10	12	2024
Fecha de ocurrencia:	Hora	Día	Mes	Año
	-	-	-	-
Localidad del deslizamiento:	Sector Lagunas			
Grupo reportante:	Tesisistas			
Escarpe	Norte	Este	Foto de Escarpe	
Inicio	9273588.52	761884.07		
Fin	9273717.31	761627.65		
		Metros		
Geometría	Longitud	112		
	Ancho	45		
	Altitud (escarpes)	10		
Geología-Geomorfología				
Croquis		Descripción		
		Una parte de escarpe principal del deslizamiento principal del sector lagunas, presenta una ruptura bien diferenciada compuesta por material lutítico, representada por una intensa coloración gris, además de estar parcialmente cubierto por materia vegetal, presenta alta saturación.		
			Sí	No
		Formación Chota	X	
		Formación Celendín	X	
		Formación Quilquiñán-Mujarrúm		X
Formación Cajamarca		X		

	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
	Descripción de Campo			
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA			
Fecha de reporte:	Hora	Día	Mes	Año
	10:30	03	01	2025
Fecha de ocurrencia:	Hora	Día	Mes	Año
	-	-	-	-
Localidad del deslizamiento:	Sector Lagunas			
Grupo reportante:	Tesisistas			
Escarpe	Norte	Este	Foto de Escarpe	
Inicio	9273275.31	761796.13		
Fin	9273525.56	761511.43		
		Metros		
Geometría	Longitud	392		
	Ancho	24		
	Altitud (escarpes)	18		
Geología-Geomorfología				
Croquis		Descripción		
		Un escarpe antiguo del deslizamiento principal del sector lagunas, presenta una ruptura bien diferenciada compuesta por material areno-arcilloso, representada por una intensa coloración gris, además de estar parcialmente cubierto por materia vegetal, presenta alta saturación.		
			Sí	No
		Formación Chota		X
		Formación Celendín	X	
		Formación Quilquiñán-Mujarrúm		X
Formación Cajamarca	X			

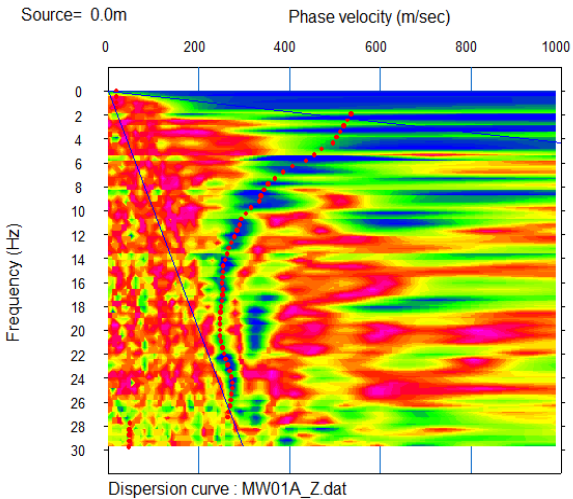
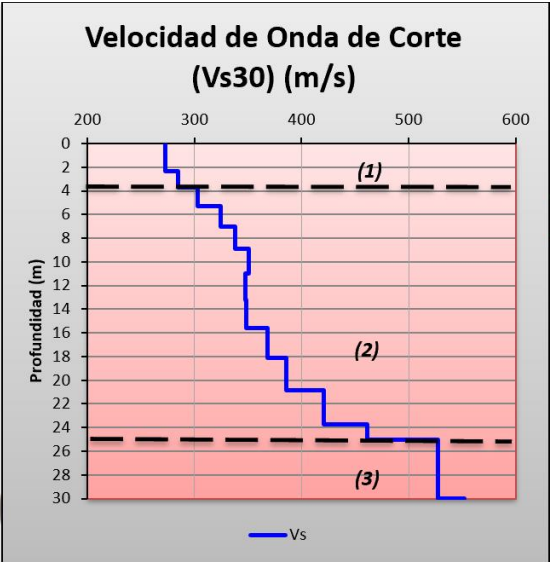
	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
	Descripción de Campo			
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA			
Fecha de reporte:	Hora	Día	Mes	Año
	12:00	03	01	2025
Fecha de ocurrencia:	Hora	Día	Mes	Año
	-	-	-	-
Localidad del deslizamiento:	Sector Lagunas			
Grupo reportante:	Tesisistas			
Reptación	Norte	Este	Foto de Escarpe	
Inicio	9273716.41	761416.99		
Fin	9273659.78	761467.79		
		Metros		
Geometría	Longitud	85		
	Ancho	8.4		
	Altitud (escarpes)	2		
Geología-Geomorfología				
Croquis		Descripción		
		Reptación estacional leve desarrollada por infiltración de grietas de tensión, presenta una zona bien diferenciada compuesta por material lutítico saturada.		
			Sí	No
		Formación Chota		X
		Formación Celendín	X	
		Formación Quilquiñán-Mujarrúm		X
Formación Cajamarca	X			

	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
	Descripción de Campo			
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA			
Fecha de reporte:	Hora	Día	Mes	Año
	15:30	10	12	2024
Fecha de ocurrencia:	Hora	Día	Mes	Año
	-	-	-	-
Localidad del deslizamiento:	Sector Lagunas			
Grupo reportante:	Tesisistas			
Reptación	Norte	Este	Foto de Escarpe	
Inicio	9273748.93	761568.59		
Fin	9273670.27	761528.57		
		Metros		
Geometría	Longitud	126		
	Ancho	36.5		
	Altitud (escarpes)	7		
Geología-Geomorfología				
Croquis		Descripción		
		Reptación estacional desarrollada por infiltración de grietas de tensión, presenta una zona bien diferenciada compuesta por material lutítico saturada.		
			Sí	No
		Formación Chota		X
		Formación Celendín	X	
		Formación Quilquiñán-Mujarrúm		X
Formación Cajamarca	X			

	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
	Descripción de Campo			
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA			
Fecha de reporte:	Hora	Día	Mes	Año
	14:00	07	09	2024
Fecha de ocurrencia:	Hora	Día	Mes	Año
	-	-	-	-
Localidad del deslizamiento:	Sector Lagunas			
Grupo reportante:	Tesisistas			
Reptación	Norte	Este	Foto de Escarpe	
Inicio	9273833.43	761739.61		
Fin	9273850.84	761492.84		
		Metros		
Geometría	Longitud	330		
	Ancho	77		
	Altitud (escarpes)	4		
Geología-Geomorfología				
Croquis		Descripción		
		Reptación estacional leve desarrollada por infiltración de grietas de tensión, presenta una zona bien diferenciada compuesta por material lutítico saturada.		
			Sí	No
		Formación Chota		X
		Formación Celendín	X	
		Formación Quilquiñán-Mujarrúm		X
Formación Cajamarca	X			

	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas, provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
	Descripción de Campo			
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA			
Fecha de reporte:	Hora	Día	Mes	Año
	15:30	07	09	2024
Fecha de ocurrencia:	Hora	Día	Mes	Año
	-	-	-	-
Localidad del deslizamiento:	Sector Lagunas			
Grupo reportante:	Tesisistas			
Escarpe	Norte	Este	Foto de Escarpe	
Inicio	9273833.43	761739.61		
Fin	9273850.84	761492.84		
		Metros		
Geometría	Longitud	112		
	Ancho	10		
	Altitud (escarpes)	12		
Geología-Geomorfología				
Croquis		Descripción		
		Una parte de escarpe principal del deslizamiento principal del sector lagunas, presenta una ruptura bien diferenciada compuesta por material areno-arcilloso, representada por una intensa coloración gris, además de estar parcialmente cubierto por materia vegetal, presenta alta saturación.		
			Sí	No
		Formación Chota		X
		Formación Celendín	X	
		Formación Quilquiñán-Mujarrúm		X
Formación Cajamarca	X			

Anexo C. MASW-1D

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota- Cajamarca, 2024	
ENSAYO		Análisis de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal (MASW - 01)	
Ubicación del Ensayo		Cajamarca - Chota - Chota	
Lugar		Sector Lagunas / zona 01	
Coordenada MASW:		Este (m)	Norte (m)
		761859.43	9273446.39
CURVA DE DISPERSIÓN		PERFIL UNIDIMENSIONAL	
			

(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.

(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.

(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Clasificación del Sitio (Fuente IBC, 2015)

Tipo de Suelo	Denominación del suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30(m/s)*	Resistencia a la Penetración Estándar SPT (N)**
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 < N < 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$

Período de vibración Fundamental del terreno
T0(s)
$T0 = 4H/Vs30$
0.33

Vs30(m/s)*; Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales

N**, Número de golpes

IBC - 2015

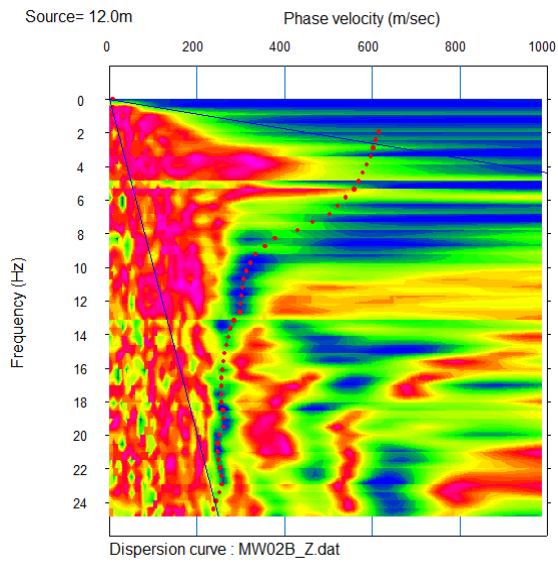
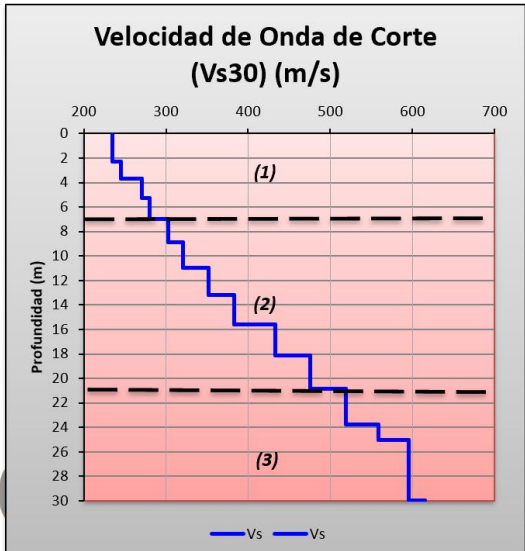
Vs30(m/s)	367.13
Tipo de Suelo	C

NTP E-030 - 2019

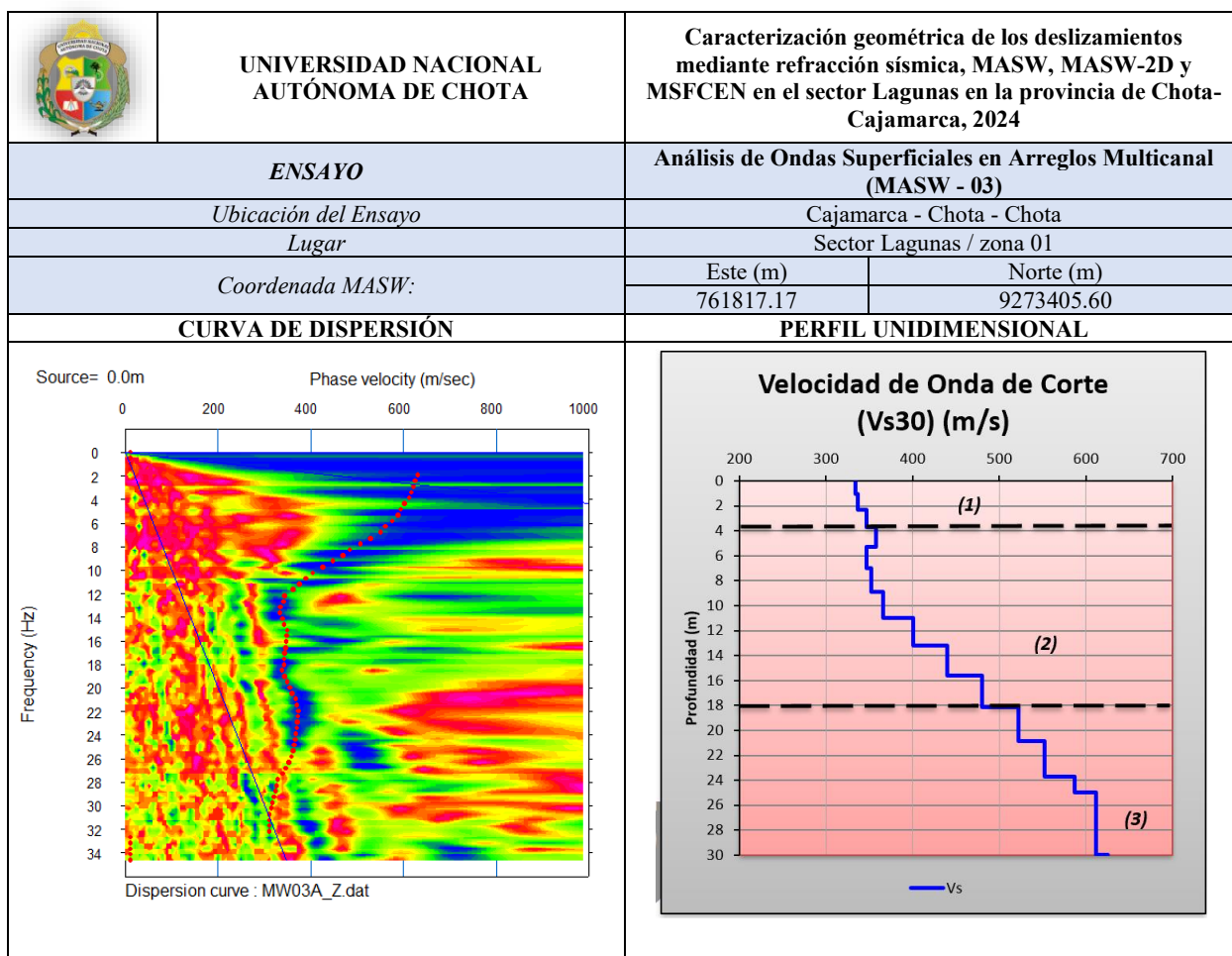
Vs30(m/s)	367.13
Tipo de Suelo	Suelos Intermedios

Clasificación Sísmica NTP E- 030 - 2018

Tipo de Suelo	Vs30(m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelo muy Rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelo Blandos

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota- Cajamarca, 2024	
ENSAYO		Análisis de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal (MASW - 02)	
<i>Ubicación del Ensayo</i>		Cajamarca - Chota - Chota	
<i>Lugar</i>		Sector Lagunas / zona 01	
<i>Coordenada MASW:</i>		Este (m)	Norte (m)
		761915.09	9273478.87
CURVA DE DISPERSIÓN		PERFIL UNIDIMENSIONAL	
			
(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida. (2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada. (3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.			
Clasificación del Sitio (Fuente IBC, 2015)			
Tipo de Suelo	Denominación del suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30(m/s)*	Resistencia a la Penetración Estándar SPT (N)**
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 < N < 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$
Vs30(m/s)*; Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales N**; Número de golpes			
IBC - 2015			
Vs30(m/s)	372.33		
Tipo de Suelo	C		
NTP E-030 - 2019			
Vs30(m/s)	372.33		
Tipo de Suelo	Suelos Intermedios		
Clasificación Sísmica NTP E- 030 - 2018			
Tipo de Suelo	Vs30(m/s)	Denominación	
S0	$V_s > 1500$	Roca dura	
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelo muy Rígidos	
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo Intermedios	
S3	$V_s < 180$	Suelo Blandos	

Período de vibración Fundamental del terreno
T0(s)
$T0=4H/Vs30$
0.32



- (1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida.
- (2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada.
- (3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.

Clasificación del Sitio (Fuente IBC, 2015)

Tipo de Suelo	Denominación del suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30(m/s)*	Resistencia a la Penetración Estándar SPT (N)**
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 < N < 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$

Período de vibración Fundamental del terreno
T0(s)
$T0 = 4H/Vs30$
0.27

Vs30(m/s)*; Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales
N**; Número de golpes

IBC - 2015

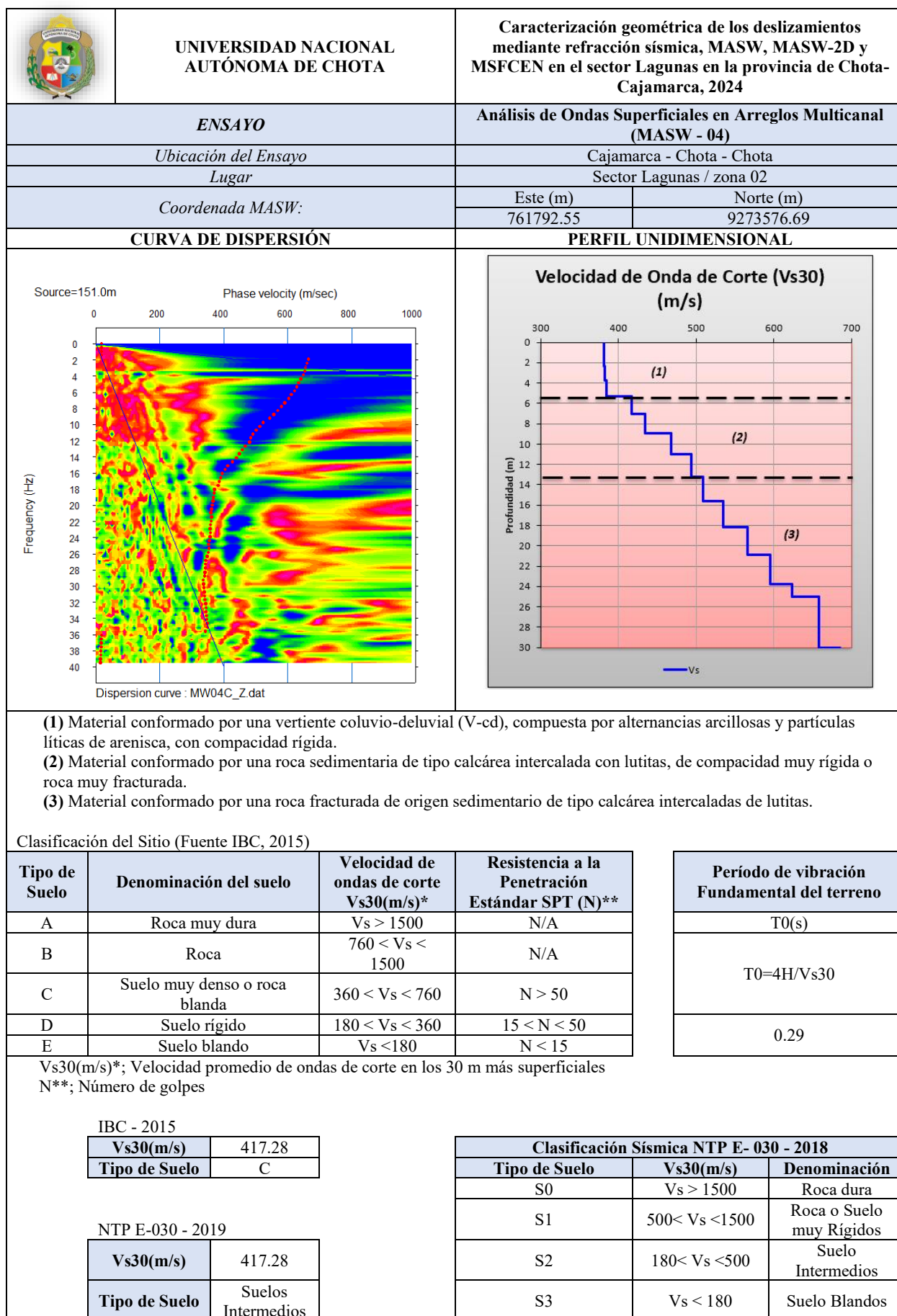
Vs30(m/s)	438.81
Tipo de Suelo	C

NTP E-030 - 2019

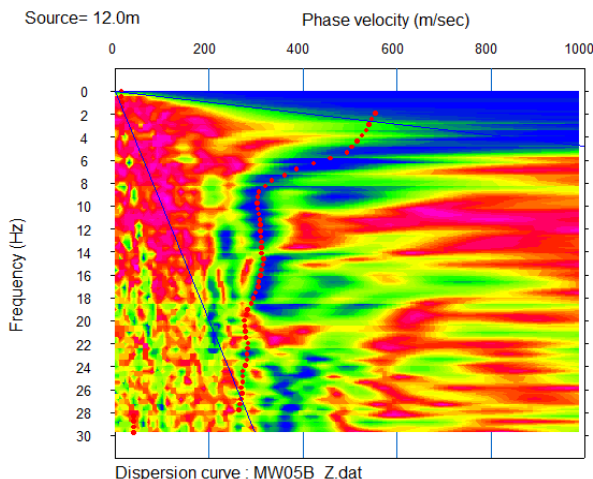
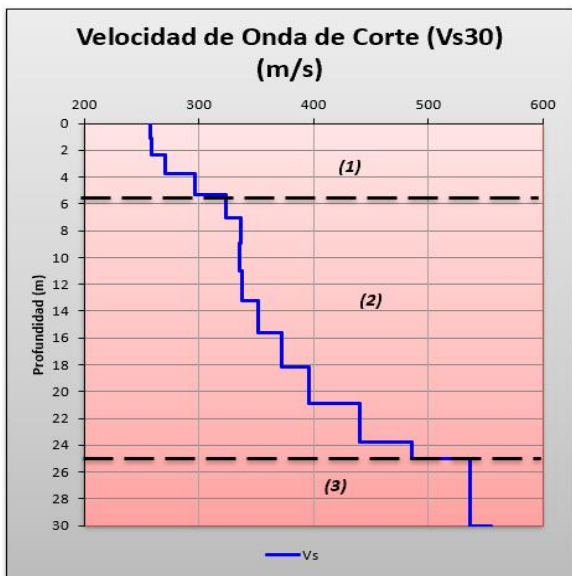
Vs30(m/s)	438.81
Tipo de Suelo	Suelos Intermedios

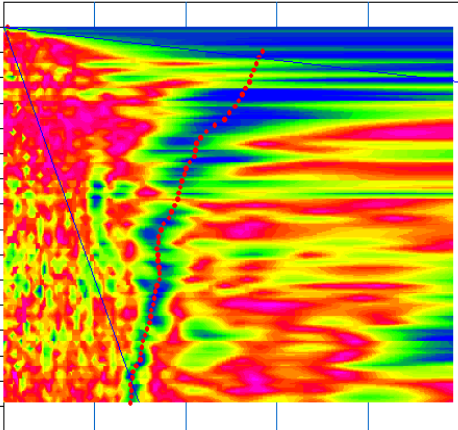
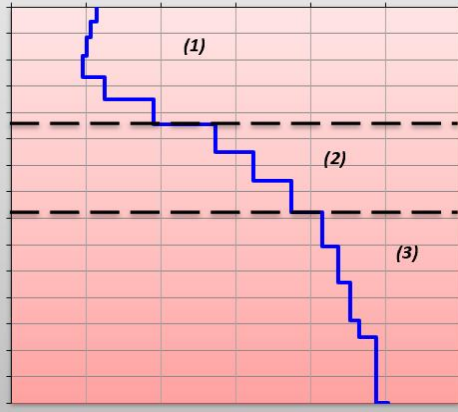
Clasificación Sísmica NTP E- 030 - 2018

Tipo de Suelo	Vs30(m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelo muy Rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelo Blandos



Período de vibración Fundamental del terreno
T0(s)
$T0=4H/Vs30$
0.29

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota- Cajamarca, 2024	
ENSAYO		Análisis de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal (MASW - 05)	
<i>Ubicación del Ensayo</i>		Cajamarca - Chota - Chota	
<i>Lugar</i>		Sector Lagunas / zona 2	
<i>Coordenada MASW:</i>		Este (m)	Norte (m)
		761692.09	9273497.78
CURVA DE DISPERSIÓN		PERFIL UNIDIMENSIONAL	
			
(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida. (2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada. (3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.			
Clasificación del Sitio (Fuente IBC, 2015)			
Tipo de Suelo	Denominación del suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30(m/s)*	Resistencia a la Penetración Estándar SPT (N)**
A	Roca muy dura	Vs > 1500	N/A
B	Roca	760 < Vs < 1500	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	360 < Vs < 760	N > 50
D	Suelo rígido	180 < Vs < 360	15 < N < 50
E	Suelo blando	Vs <180	N < 15
Vs30(m/s)*; Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales N**; Número de golpes			
IBC - 2015			
Vs30(m/s)	365.53		
Tipo de Suelo	C		
NTP E-030 - 2019			
Vs30(m/s)	365.53		
Tipo de Suelo	Suelos Intermedios		
Clasificación Sísmica NTP E- 030 - 2018			
Tipo de Suelo	Vs30(m/s)	Denominación	
S0	Vs > 1500	Roca dura	
S1	500< Vs <1500	Roca o Suelo muy Rígidos	
S2	180< Vs <500	Suelo Intermedios	
S3	Vs < 180	Suelo Blandos	

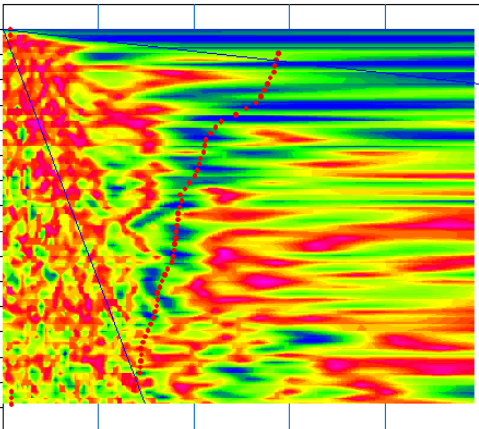
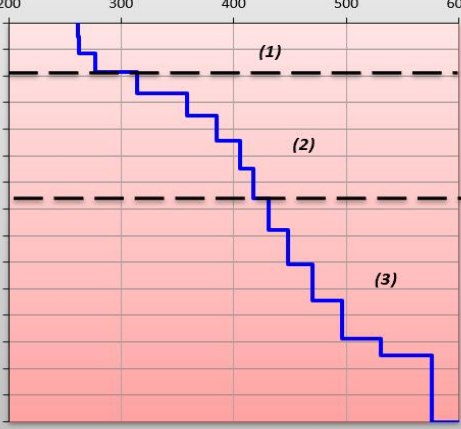
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota- Cajamarca, 2024	
ENSAYO		Análisis de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal (MASW - 06)	
Ubicación del Ensayo		Cajamarca - Chota - Chota	
Lugar		Sector Lagunas / zona 2	
Coordenada MASW:		Este (m)	Norte (m)
		761701.06	9273582.46
CURVA DE DISPERSIÓN		PERFIL UNIDIMENSIONAL	
Source=151.0m Phase velocity (m/sec) 02004006008001000 04681012141618202224262830  Dispersion curve : MW06C_Z.dat		Velocidad de Onda de Corte (Vs30) (m/s) 100200300400500600700 024681012141618202224262830  Profundidad (m) — Vs	
(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida. (2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada. (3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.			
Clasificación del Sitio (Fuente IBC, 2015)			
Tipo de Suelo	Denominación del suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30(m/s)*	Resistencia a la Penetración Estándar SPT (N)**
A	Roca muy dura	Vs > 1500	N/A
B	Roca	760 < Vs < 1500	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	360 < Vs < 760	N > 50
D	Suelo rígido	180 < Vs < 360	15 < N < 50
E	Suelo blando	Vs <180	N < 15
Vs30(m/s)*; Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales N**; Número de golpes			
IBC - 2015			
Vs30(m/s)	366.04		
Tipo de Suelo	C		
NTP E-030 - 2019			
Vs30(m/s)	366.04		
Tipo de Suelo	Suelos Intermedios		
Clasificación Sísmica NTP E- 030 - 2018			
Tipo de Suelo	Vs30(m/s)	Denominación	
S0	Vs > 1500	Roca dura	
S1	500< Vs <1500	Roca o Suelo muy Rígidos	
S2	180< Vs <500	Suelo Intermedios	
S3	Vs < 180	Suelo Blandos	

Período de vibración Fundamental del terreno

T0(s)

$$T_0 = 4H/V_{s30}$$

0.33

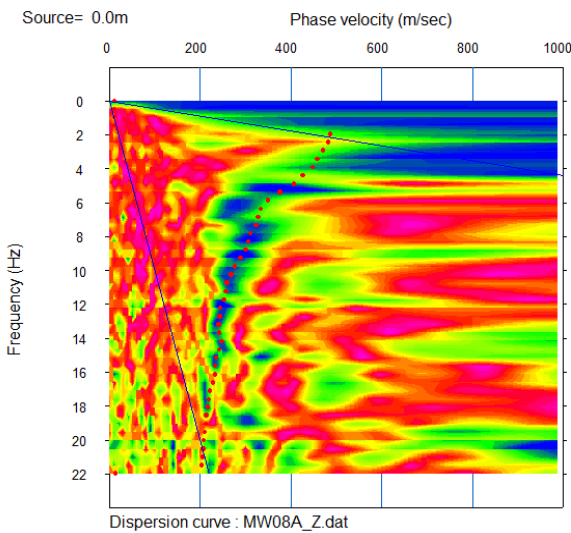
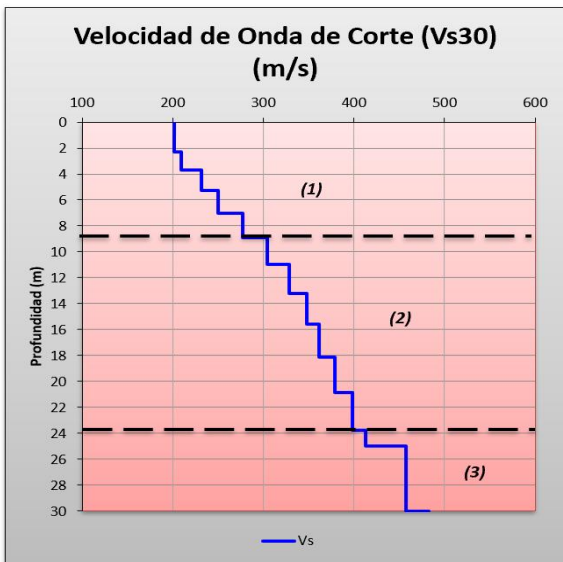
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota- Cajamarca, 2024																
ENSAYO		Análisis de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal (MASW - 07)																
Ubicación del Ensayo		Cajamarca - Chota - Chota																
Lugar		Sector Lagunas / zona 3																
Coordenada MASW:		Este (m)	Norte (m)															
		761645.38	9273696.89															
CURVA DE DISPERSIÓN		PERFIL UNIDIMENSIONAL																
Source= 12.0m Phase velocity (m/sec) 02004006008001000 024681012141618202224262830  Dispersion curve : MW07B.dat		Velocidad de Onda de Corte (Vs30) (m/s) 200300400500600 024681012141618202224262830  Profundidad (m) — Vs																
(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida. (2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada. (3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.																		
Clasificación del Sitio (Fuente IBC, 2015)																		
Tipo de Suelo	Denominación del suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30(m/s)*	Resistencia a la Penetración Estándar SPT (N)**															
A	Roca muy dura	Vs > 1500	N/A															
B	Roca	760 < Vs < 1500	N/A															
C	Suelo muy denso o roca blanda	360 < Vs < 760	N > 50															
D	Suelo rígido	180 < Vs < 360	15 < N < 50															
E	Suelo blando	Vs <180	N < 15															
Vs30(m/s)*; Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales N**; Número de golpes																		
IBC - 2015 <table><tr><td>Vs30(m/s)</td><td>411.45</td></tr><tr><td>Tipo de Suelo</td><td>C</td></tr></table>				Vs30(m/s)	411.45	Tipo de Suelo	C											
Vs30(m/s)	411.45																	
Tipo de Suelo	C																	
NTP E-030 - 2019 <table><tr><td>Vs30(m/s)</td><td>411.45</td></tr><tr><td>Tipo de Suelo</td><td>Suelos Intermedios</td></tr></table>				Vs30(m/s)	411.45	Tipo de Suelo	Suelos Intermedios											
Vs30(m/s)	411.45																	
Tipo de Suelo	Suelos Intermedios																	
Clasificación Sísmica NTP E- 030 - 2018 <table><tr><td>Tipo de Suelo</td><td>Vs30(m/s)</td><td>Denominación</td></tr><tr><td>S0</td><td>Vs > 1500</td><td>Roca dura</td></tr><tr><td>S1</td><td>500< Vs <1500</td><td>Roca o Suelo muy Rígidos</td></tr><tr><td>S2</td><td>180< Vs <500</td><td>Suelo Intermedios</td></tr><tr><td>S3</td><td>Vs < 180</td><td>Suelo Blandos</td></tr></table>				Tipo de Suelo	Vs30(m/s)	Denominación	S0	Vs > 1500	Roca dura	S1	500< Vs <1500	Roca o Suelo muy Rígidos	S2	180< Vs <500	Suelo Intermedios	S3	Vs < 180	Suelo Blandos
Tipo de Suelo	Vs30(m/s)	Denominación																
S0	Vs > 1500	Roca dura																
S1	500< Vs <1500	Roca o Suelo muy Rígidos																
S2	180< Vs <500	Suelo Intermedios																
S3	Vs < 180	Suelo Blandos																
T0=4H/Vs30 0.29																		

Período de vibración Fundamental del terreno

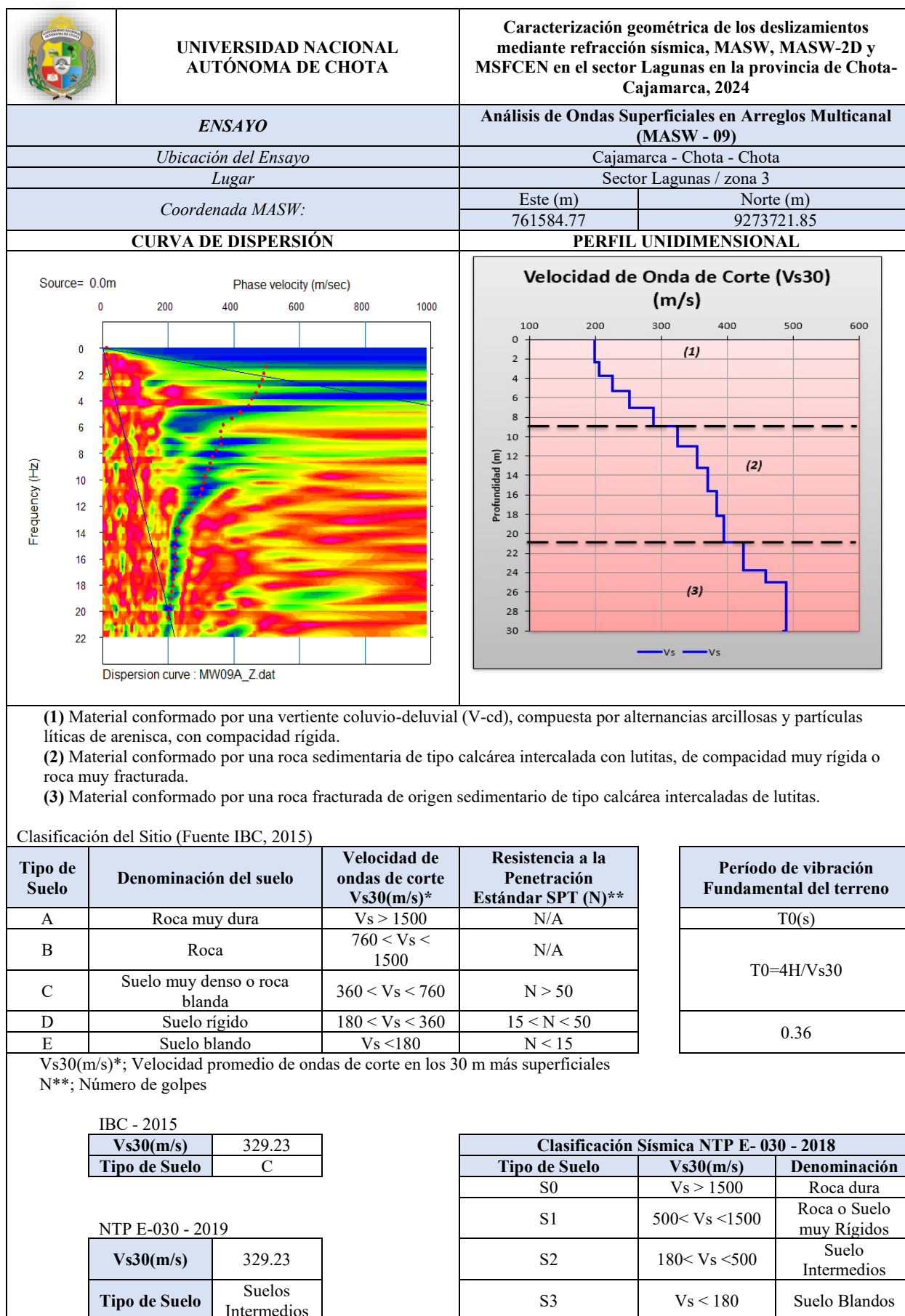
T0(s)

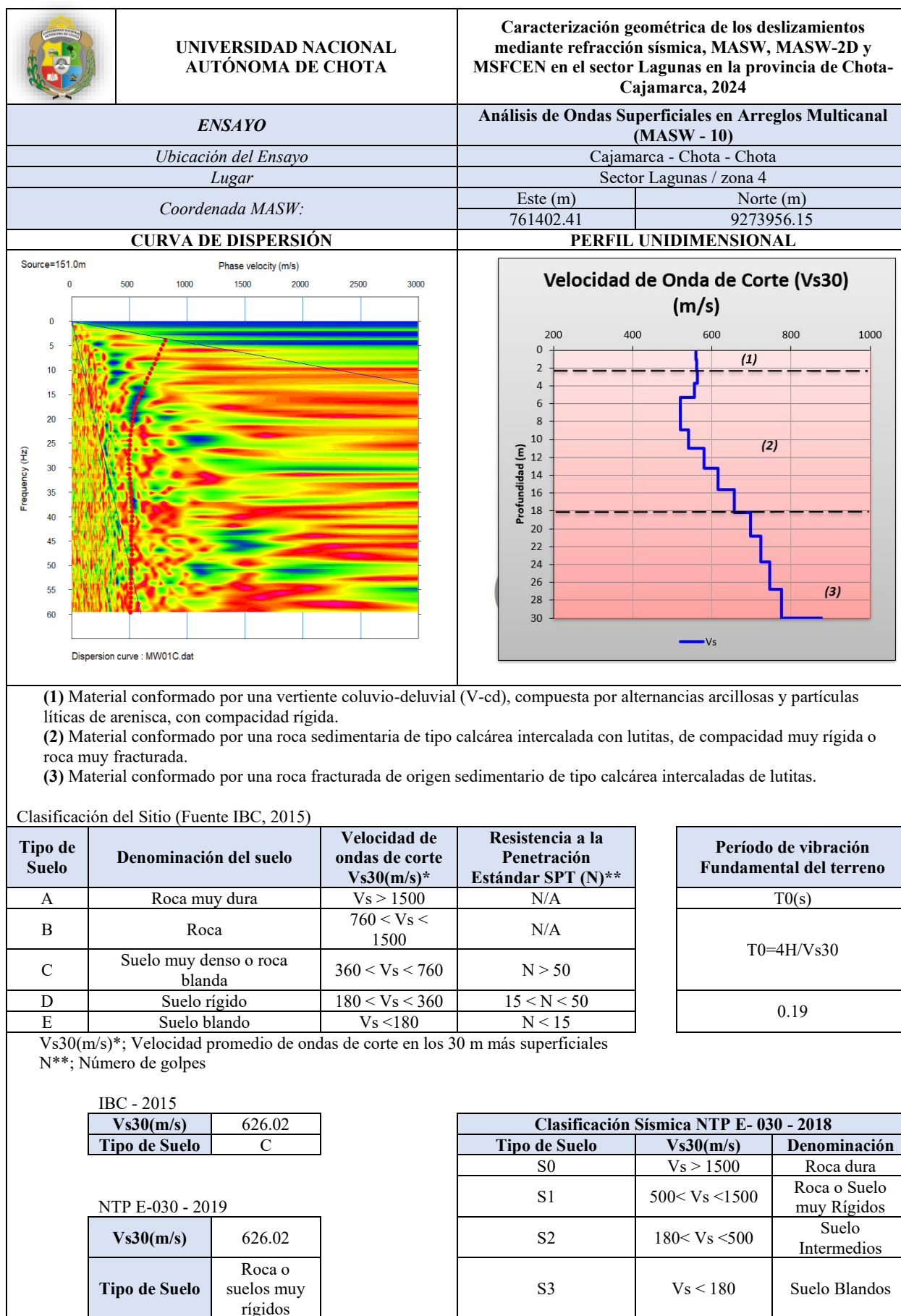
$$T0=4H/Vs30$$

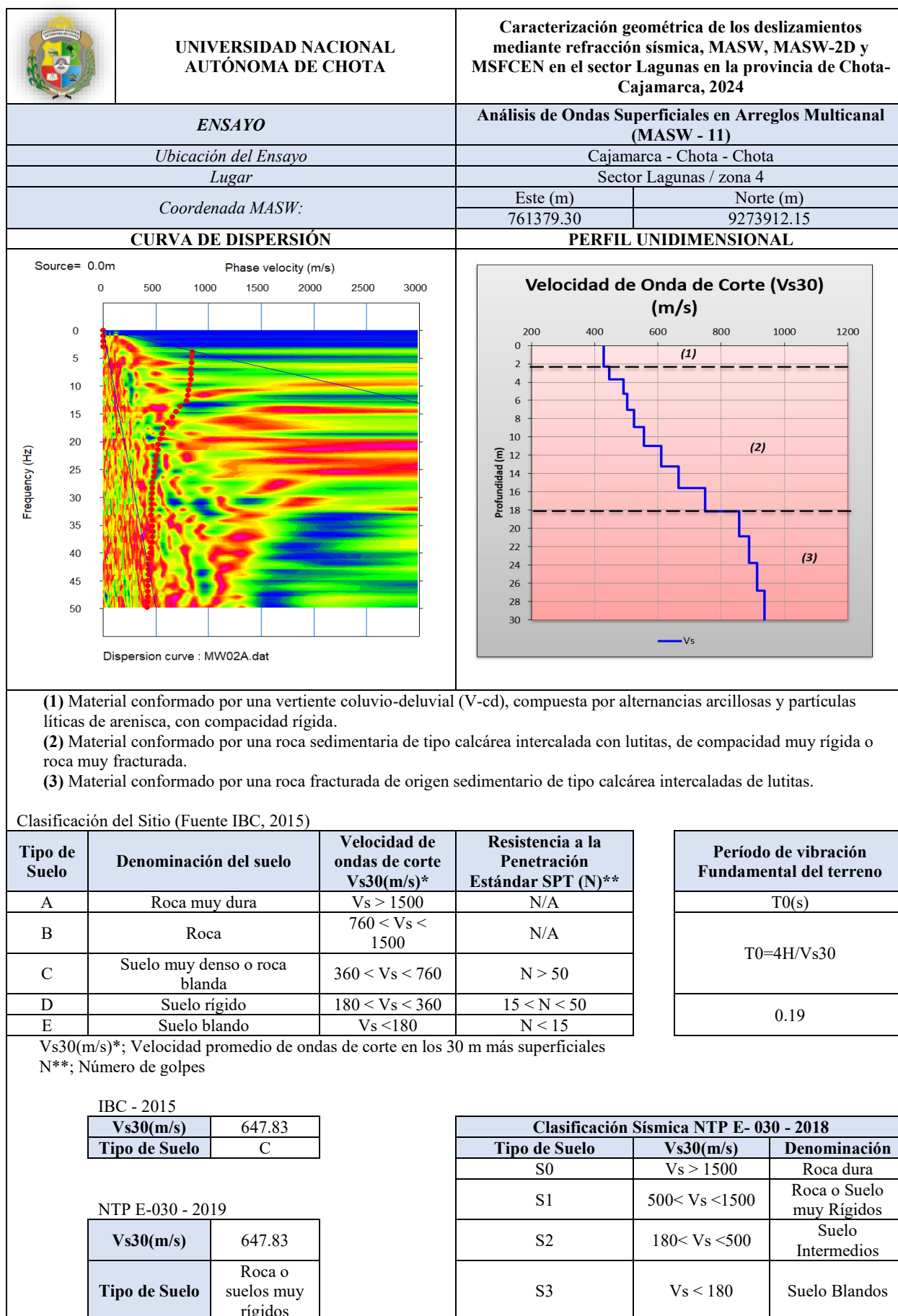
0.29

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota- Cajamarca, 2024	
ENSAYO		Análisis de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal (MASW - 08)	
<i>Ubicación del Ensayo</i>		Cajamarca - Chota - Chota	
<i>Lugar</i>		Sector Lagunas / zona 3	
<i>Coordenada MASW:</i>		Este (m)	Norte (m)
		761519.00	9273694.38
CURVA DE DISPERSIÓN		PERFIL UNIDIMENSIONAL	
			
(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd), compuesta por alternancias arcillosas y partículas líticas de arenisca, con compacidad rígida. (2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada con lutitas, de compacidad muy rígida o roca muy fracturada. (3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas.			
Clasificación del Sitio (Fuente IBC, 2015)			
Tipo de Suelo	Denominación del suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30(m/s)*	Resistencia a la Penetración Estándar SPT (N)**
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 < N < 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$
Vs30(m/s)*; Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales N**; Número de golpes			
IBC - 2015			
Vs30(m/s)	317.42		
Tipo de Suelo	C		
NTP E-030 - 2019			
Vs30(m/s)	317.42		
Tipo de Suelo	Suelos Intermedios		
Clasificación Sísmica NTP E- 030 - 2018			
Tipo de Suelo	Vs30(m/s)	Denominación	
S0	$V_s > 1500$	Roca dura	
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelo muy Rígidos	
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo Intermedios	
S3	$V_s < 180$	Suelo Blandos	

Período de vibración Fundamental del terreno
T0(s)
$T0=4H/Vs30$
0.38







Anexo D. Parámetros elásticos

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA				Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024					
Presentación de datos			Parámetros Elásticos del Terreno				Ubicación del proyecto				
Coordenadas del centro			Este (m)		Norte (m)		Chota-Chota-Cajamarca				
MASW-01		LRS-01		761859.43		9273446.39		Sector Lagunas / zona 01			
RELACIONES DE POISSON						FORMULACIONES					
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996) $V_P = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}} \qquad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ Relacionando las velocidades de onda (Kramer, 1996) $\text{Relación de Poisson (v)} \qquad v = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$ $\text{Módulo de Young (E}_d\text{)} \qquad E_d = 2(1 + v)G$ $\text{Módulo de Corte (G}_{max}\text{)} \qquad G_{max} = \rho V_s^2$			
Arena Suelta		0.20 - 0.40		Stoke y Woods (1972)		v=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.					
Arena Media		0.25 - 0.40									
Arena Densa		0.30 - 0.45									
Arena Limosa		0.20 - 0.40		Davis y Schuteiss (1980)		0.4982 < v < 0.4997, para arcillas					
Arena Blanda		0.15 - 0.25									
Arena Media		0.20 - 0.50		Stuempel et al. (1984) / Meissner et al. (1995)		v=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.					
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tiab y Donaldson (1996)		0.14 < v < 0.41, para diferentes litologías y grados de saturación.					
Arcilla		0.40 - 0.45									
Arena		0.30 - 0.40									
Roca		0.30 - 0.25		Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canaveralejo, Cali, Colombia.							
Rosales, Cristina. (2001).											

Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	p (t/m³)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte (Gd) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ed) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Kd) (kg/cm²)	Módulo de corte (Ge) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ee) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Ke) (t/m²)
1.07	272.59	471.12	1.32	1.73	0.25	1000.43	2497.85	1654.53	100.04	249.78	165.45
2.31	284.53	500.21	1.33	1.76	0.26	1094.72	2760.51	1923.69	109.47	276.05	192.37
3.71	302.89	540.83	1.33	1.79	0.27	1248.73	3175.52	2316.22	124.87	317.55	231.62
4.00	313.50	563.74	1.34	1.80	0.28	1342.77	3427.13	2551.53	134.28	342.71	255.15
5.27	324.11	576.64	1.34	1.78	0.27	1440.58	3656.48	2639.30	144.06	365.65	263.93
6.00	331.14	593.25	1.35	1.79	0.27	1507.47	3840.20	2828.51	150.75	384.02	282.85
7.01	338.17	617.28	1.35	1.83	0.29	1576.05	4052.31	3150.00	157.60	405.23	315.00
8.00	344.45	621.31	1.35	1.80	0.28	1638.76	4189.13	3146.96	163.88	418.91	314.70
8.90	350.73	689.61	1.36	1.97	0.33	1702.83	4514.34	4312.67	170.28	451.43	431.27
10.00	347.79	807.91	1.36	2.32	0.39	1672.70	4637.60	6795.83	167.27	463.76	679.58
15.00	368.17	894.28	1.36	2.43	0.40	1887.87	5278.31	8620.99	188.79	527.83	862.10

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA				Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024					
Presentación de datos			Parámetros Elásticos del Terreno				Ubicación del proyecto				
Coordenadas del centro			Este (m)		Norte (m)		Chota-Chota-Cajamarca				
MASW-02		LRS-02		761915.09		9273478.87		Sector Lagunas / zona 01			
RELACIONES DE POISSON						FORMULACIONES					
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996)			
Arena Suelta		0.20 - 0.40		Stoke y Woods (1972)		v=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.		$V_P = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}} \qquad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$			
Arena Media		0.25 - 0.40									
Arena Densa		0.30 - 0.45									
Arena Limosa		0.20 - 0.40		Davis y Schuteiss (1980)		0.4982 < v < 0.4997, para arcillas		Relacionando las velocidades de onda (Kramer, 1996)			
Arena Blanda		0.15 - 0.25									
Arena Media		0.20 - 0.50		Stuempel et al. (1984) / Meissner et al. (1995)		v=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.		$\text{Relación de Poisson (v)} \qquad v = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$			
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tiab y Donaldson (1996)		0.14 < v < 0.41, para diferentes litologías y grados de saturación.		$\text{Módulo de Young (E}_d\text{)} \qquad E_d = 2(1 + v)G$			
Arcilla		0.40 - 0.45									
Arena		0.30 - 0.40									
Roca		0.30 - 0.25		Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canaveralejo, Cali, Colombia.				$\text{Módulo de Corte (G}_{max}\text{)} \qquad G_{max} = \rho V_s^2$			
Rosales, Cristina. (2001).											
Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	p (t/m³)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte (Gd) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ed) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Kd) (kg/cm²)	Módulo de corte (Ge) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ee) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Ke) (t/m²)
1.07	234.77	480.48	1.30	2.05	0.34	731.99	1966.41	2089.99	73.20	196.64	209.00
2.31	245.32	606.55	1.31	2.47	0.40	802.35	2250.12	3835.06	80.23	225.01	383.51
3.71	270.96	644.64	1.32	2.38	0.39	987.93	2751.81	4274.64	98.79	275.18	427.46
4.00	275.59	702.17	1.32	2.55	0.41	1023.73	2884.78	5280.58	102.37	288.48	528.06
5.27	280.23	759.70	1.32	2.71	0.42	1060.23	3013.70	6378.44	106.02	301.37	637.84
6.00	291.30	822.85	1.33	2.82	0.43	1150.23	3285.87	7643.99	115.02	328.59	764.40
7.01	302.38	907.00	1.33	3.00	0.44	1244.25	3577.16	9536.06	124.42	357.72	953.61
8.00	311.55	981.63	1.34	3.15	0.44	1325.20	3827.16	11389.08	132.52	382.72	1138.91
8.90	320.72	1056.26	1.34	3.29	0.45	1408.96	4083.79	13403.48	140.90	408.38	1340.35
10.00	352.23	1299.58	1.36	3.69	0.46	1718.36	5018.83	21100.58	171.84	501.88	2110.06
15.00	432.64	1306.18	1.40	3.02	0.44	2665.41	7667.76	20740.79	266.54	766.78	2074.08

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA				Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024					
Presentación de datos			Parámetros Elásticos del Terreno				Ubicación del proyecto				
Coordenadas del centro			Este (m)		Norte (m)		Chota-Chota-Cajamarca				
MASW-03		LRS-03		761817.17		9273405.60		Sector Lagunas / zona 01			
RELACIONES DE POISSON						FORMULACIONES					
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996)			
Arena Suelta		0.20 - 0.40		Stoke y Woods (1972)		v=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.		$V_P = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}}$ $V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$			
Arena Media		0.25 - 0.40									
Arena Densa		0.30 - 0.45									
Arena Limosa		0.20 - 0.40		Davis y Schuteiss (1980)		0.4982 < v < 0.4997, para arcillas		Relacionando las velocidades de onda (Kramer, 1996)			
Arena Blanda		0.15 - 0.25									
Arena Media		0.20 - 0.50		Stuempel et al. (1984) / Meissner et al. (1995)		v=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.		$\text{Relación de Poisson (v)} \quad v = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$			
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tiab y Donaldson (1996)		0.14 < v < 0.41, para diferentes litologías y grados de saturación.		$\text{Módulo de Young (E}_d\text{)} \quad E_d = 2(1 + v)G$			
Arcilla		0.40 - 0.45									
Arena		0.30 - 0.40									
Roca		0.30 - 0.25		Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canaveralejo, Cali, Colombia.				$\text{Módulo de Corte (G}_{max}\text{)} \quad G_{max} = \rho V_s^2$			
Rosales, Cristina. (2001).											
Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	p (t/m³)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte (Gd) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ed) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Kd) (kg/cm²)	Módulo de corte (Ge) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ee) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Ke) (t/m²)
1.07	336.70	556.57	1.35	1.65	0.21	1561.58	3783.38	2184.87	156.16	378.34	218.49
2.31	346.50	611.88	1.35	1.77	0.26	1659.52	4195.18	2962.37	165.95	419.52	296.24
3.71	357.57	724.00	1.36	2.02	0.34	1774.09	4749.94	4907.98	177.41	474.99	490.80
4.00	352.31	806.12	1.36	2.29	0.38	1719.12	4751.48	6708.22	171.91	475.15	670.82
5.27	347.05	888.37	1.35	2.56	0.41	1665.11	4695.45	8690.50	166.51	469.54	869.05
6.00	349.69	962.78	1.36	2.75	0.42	1692.14	4819.26	10570.65	169.21	481.93	1057.07
7.01	352.33	1004.60	1.36	2.85	0.43	1719.40	4917.06	11685.87	171.94	491.71	1168.59
8.00	359.37	1036.54	1.36	2.88	0.43	1793.12	5134.39	12527.09	179.31	513.44	1252.71
8.90	366.40	1068.48	1.36	2.92	0.43	1868.56	5356.68	13398.85	186.86	535.67	1339.89
10.00	400.90	1126.63	1.38	2.81	0.43	2263.96	6463.64	14860.58	226.40	646.36	1486.06
15.00	479.90	1279.02	1.42	2.67	0.42	3332.28	9450.85	19226.42	333.23	945.08	1922.64

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA				Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024					
Presentación de datos			Parámetros Elásticos del Terreno				Ubicación del proyecto				
Coordenadas del centro			Este (m)		Norte (m)		Chota-Chota-Cajamarca				
MASW-04		LRS-04		761792.55		9273576.69		Sector Lagunas / zona 02			
RELACIONES DE POISSON						FORMULACIONES					
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996)			
Arena Suelta		0.20 - 0.40		Stoke y Woods (1972)		v=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.		$V_P = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}} \qquad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$			
Arena Media		0.25 - 0.40									
Arena Densa		0.30 - 0.45									
Arena Limosa		0.20 - 0.40		Davis y Schuteiss (1980)		0.4982 < v < 0.4997, para arcillas		Relacionando las velocidades de onda (Kramer, 1996)			
Arena Blanda		0.15 - 0.25									
Arena Media		0.20 - 0.50		Stuempel et al. (1984) / Meissner et al. (1995)		v=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.		$\text{Relación de Poisson (v)} \qquad v = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$			
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tiab y Donaldson (1996)		0.14 < v < 0.41, para diferentes litologías y grados de saturación.		$\text{Módulo de Young (E}_d\text{)} \qquad E_d = 2(1 + v)G$			
Arcilla		0.40 - 0.45									
Arena		0.30 - 0.40									
Roca		0.30 - 0.25		Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canaveralejo, Cali, Colombia.				$\text{Módulo de Corte (G}_{max}\text{)} \qquad G_{max} = \rho V_s^2$			
Rosales, Cristina. (2001).											
Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	p (t/m³)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte (Gd) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ed) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Kd) (kg/cm²)	Módulo de corte (Ge) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ee) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Ke) (t/m²)
1.07	371.37	607.54	1.37	1.64	0.20	1922.99	4621.78	2582.45	192.30	462.18	258.25
2.31	378.84	625.25	1.37	1.65	0.21	2006.22	4854.96	2789.94	200.62	485.50	278.99
3.71	385.34	633.58	1.37	1.64	0.21	2080.42	5019.90	2850.25	208.04	501.99	285.03
4.00	401.26	675.91	1.38	1.68	0.23	2268.26	5570.30	3411.64	226.83	557.03	341.16
5.27	417.18	698.05	1.39	1.67	0.22	2465.22	6025.92	3615.13	246.52	602.59	361.51
6.00	425.87	730.18	1.39	1.71	0.24	2576.66	6401.63	4139.17	257.67	640.16	413.92
7.01	434.56	832.40	1.40	1.92	0.31	2690.88	7064.45	6285.16	269.09	706.45	628.52
8.00	451.46	934.61	1.40	2.07	0.35	2920.91	7873.75	8623.53	292.09	787.38	862.35
8.90	468.36	1028.67	1.41	2.20	0.37	3161.63	8658.08	11035.82	316.16	865.81	1103.58
10.00	494.09	1122.74	1.42	2.27	0.38	3549.00	9794.60	13593.30	354.90	979.46	1359.33
15.00	535.35	1217.12	1.44	2.27	0.38	4223.76	11658.10	16200.29	422.38	1165.81	1620.03

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA				Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024					
Presentación de datos			Parámetros Elásticos del Terreno				Ubicación del proyecto				
Coordenadas del centro			Este (m)		Norte (m)		Chota-Chota-Cajamarca				
MASW-05		LRS-05		761692.09		9273497.78		Sector Lagunas / zona 02			
RELACIONES DE POISSON						FORMULACIONES					
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996)			
Arena Suelta		0.20 - 0.40		Stoke y Woods (1972)		v=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.		$V_P = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}} \qquad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$			
Arena Media		0.25 - 0.40									
Arena Densa		0.30 - 0.45									
Arena Limosa		0.20 - 0.40		Davis y Schuteiss (1980)		0.4982 < v < 0.4997, para arcillas		Relacionando las velocidades de onda (Kramer, 1996)			
Arena Blanda		0.15 - 0.25									
Arena Media		0.20 - 0.50		Stuempel et al. (1984) / Meissner et al. (1995)		v=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.		$\text{Relación de Poisson (v)} \qquad v = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$			
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tiab y Donaldson (1996)		0.14 < v < 0.41, para diferentes litologías y grados de saturación.		$\text{Módulo de Young (E}_d\text{)} \qquad E_d = 2(1 + v)G$			
Arcilla		0.40 - 0.45									
Arena		0.30 - 0.40									
Roca		0.30 - 0.25		Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canaveralejo, Cali, Colombia.				$\text{Módulo de Corte (G}_{max}\text{)} \qquad G_{max} = \rho V_s^2$			
Rosales, Cristina. (2001).											
Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	p (t/m³)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte (Gd) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ed) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Kd) (kg/cm²)	Módulo de corte (Ge) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ee) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Ke) (t/m²)
1.07	259.12	422.17	1.31	1.63	0.20	899.62	2155.11	1188.56	89.96	215.51	118.86
2.31	271.08	460.32	1.32	1.70	0.23	988.89	2441.63	1532.90	98.89	244.16	153.29
3.71	296.59	515.55	1.33	1.74	0.25	1194.65	2992.97	2016.73	119.46	299.30	201.67
4.00	310.21	550.84	1.34	1.78	0.27	1313.23	3329.75	2389.67	131.32	332.97	238.97
5.27	323.83	628.28	1.34	1.94	0.32	1437.99	3793.75	3495.48	143.80	379.37	349.55
6.00	330.21	682.20	1.35	2.07	0.35	1498.55	4037.12	4398.04	149.85	403.71	439.80
7.01	336.59	736.12	1.35	2.19	0.37	1560.48	4268.95	5383.22	156.05	426.89	538.32
8.00	336.12	878.33	1.35	2.61	0.41	1555.96	4400.91	8549.93	155.60	440.09	854.99
8.90	335.66	957.30	1.35	2.85	0.43	1551.44	4436.85	10550.50	155.14	443.69	1055.05
10.00	338.10	1036.28	1.35	3.07	0.44	1575.41	4538.56	12699.27	157.54	453.86	1269.93
15.00	372.21	1215.44	1.37	3.27	0.45	1932.21	5596.66	18027.50	193.22	559.67	1802.75

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA		Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024							
Presentación de datos				Parámetros Elásticos del Terreno				Ubicación del proyecto			
Coordenadas del centro				Este (m)		Norte (m)		Chota-Chota-Cajamarca			
MASW-06		LRS-06		761701.06		9273582.46		Sector Lagunas / zona 02			
RELACIONES DE POISSON								FORMULACIONES			
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996)			
Arena Suelta		0.20 - 0.40		Stoke y Woods (1972)		v=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.		$V_p = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}} \qquad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$			
Arena Media		0.25 - 0.40									
Arena Densa		0.30 - 0.45									
Arena Limosa		0.20 - 0.40		Davis y Schuteiss (1980)		0.4982 < v < 0.4997, para arcillas		Relacionando las velocidades de onda (Kramer, 1996)			
Arena Blanda		0.15 - 0.25									
Arena Media		0.20 - 0.50		Stuempel et al. (1984) / Meissner et al. (1995)		v=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.		$\text{Relación de Poisson (v)} \qquad v = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$			
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tiab y Donaldson (1996)		0.14 < v < 0.41, para diferentes litologías y grados de saturación.		$\text{Módulo de Young (E}_d\text{)} \qquad E_d = 2(1 + v)G$			
Arcilla		0.40 - 0.45									
Arena		0.30 - 0.40									
Roca		0.30 - 0.25		Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canaveralejo, Cali, Colombia.				$\text{Módulo de Corte (G}_{max}\text{)} \qquad G_{max} = \rho V_s^2$			
Rosales, Cristina. (2001).											
Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	p (t/m³)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte (Gd) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ed) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Kd) (kg/cm²)	Módulo de corte (Ge) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ee) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Ke) (t/m²)
1.07	205.72	382.13	1.29	1.86	0.30	556.11	1441.36	1177.26	55.61	144.14	117.73
2.31	201.59	407.27	1.29	2.02	0.34	533.18	1426.51	1465.27	53.32	142.65	146.53
3.71	196.40	406.96	1.28	2.07	0.35	505.09	1361.92	1495.27	50.51	136.19	149.53
4.00	210.46	435.99	1.29	2.07	0.35	583.01	1571.92	1724.78	58.30	157.19	172.48
5.27	224.52	475.02	1.30	2.12	0.36	666.95	1808.99	2096.29	66.69	180.90	209.63
6.00	257.35	521.21	1.31	2.03	0.34	886.80	2374.52	2455.21	88.68	237.45	245.52
7.01	290.18	597.40	1.33	2.06	0.35	1140.90	3070.40	3314.39	114.09	307.04	331.44
8.00	331.37	676.69	1.35	2.04	0.34	1509.70	4052.90	4282.89	150.97	405.29	428.29
8.90	372.56	735.98	1.37	1.98	0.33	1936.06	5141.15	4974.17	193.61	514.12	497.42
10.00	424.19	855.98	1.39	2.02	0.34	2554.95	6833.12	6996.87	255.49	683.31	699.69
15.00	515.84	1153.94	1.44	2.24	0.38	3896.45	10716.25	14303.10	389.65	1071.62	1430.31

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA				Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024					
Presentación de datos			Parámetros Elásticos del Terreno				Ubicación del proyecto				
Coordenadas del centro			Este (m)		Norte (m)		Chota-Chota-Cajamarca				
MASW-07		LRS-07		761645.38		9273696.89		Sector Lagunas / zona 03			
RELACIONES DE POISSON						FORMULACIONES					
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996)			
Arena Suelta		0.20 - 0.40		Stoke y Woods (1972)		v=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.		$V_P = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}}$ $V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$			
Arena Media		0.25 - 0.40									
Arena Densa		0.30 - 0.45									
Arena Limosa		0.20 - 0.40		Davis y Schuteiss (1980)		0.4982 < v < 0.4997, para arcillas		Relacionando las velocidades de onda (Kramer, 1996)			
Arena Blanda		0.15 - 0.25									
Arena Media		0.20 - 0.50		Stuempel et al. (1984) / Meissner et al. (1995)		v=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.		$\text{Relación de Poisson (v)} \quad v = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$			
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tiab y Donaldson (1996)		0.14 < v < 0.41, para diferentes litologías y grados de saturación.		$\text{Módulo de Young (E}_d\text{)} \quad E_d = 2(1 + v)G$			
Arcilla		0.40 - 0.45									
Arena		0.30 - 0.40									
Roca		0.30 - 0.25		Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canaveralejo, Cali, Colombia.				$\text{Módulo de Corte (G}_{max}\text{)} \quad G_{max} = \rho V_s^2$			
Rosales, Cristina. (2001).											
Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	p (t/m³)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte (Gd) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ed) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Kd) (kg/cm²)	Módulo de corte (Ge) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ee) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Ke) (t/m²)
1.07	262.31	430.12	1.31	1.64	0.20	923.01	2222.45	1251.03	92.30	222.25	125.10
2.31	277.25	456.70	1.32	1.65	0.21	1036.71	2505.05	1430.70	103.67	250.51	143.07
3.71	314.28	525.06	1.34	1.67	0.22	1349.81	3295.86	1967.84	134.98	329.59	196.78
4.00	336.47	575.61	1.35	1.71	0.24	1559.39	3868.75	2484.47	155.94	386.87	248.45
5.27	358.67	641.03	1.36	1.79	0.27	1785.75	4543.41	3323.11	178.57	454.34	332.31
6.00	371.54	706.45	1.37	1.90	0.31	1924.76	5038.36	4392.49	192.48	503.84	439.25
7.01	384.40	864.21	1.37	2.25	0.38	2069.58	5698.29	7701.05	206.96	569.83	770.11
8.00	395.07	1003.04	1.38	2.54	0.41	2194.18	6179.63	11217.73	219.42	617.96	1121.77
8.90	405.75	1141.87	1.38	2.81	0.43	2322.85	6632.88	15299.68	232.29	663.29	1529.97
10.00	417.56	1271.70	1.39	3.05	0.44	2470.08	7111.74	19617.25	247.01	711.17	1961.73
15.00	447.73	1615.22	1.40	3.61	0.46	2869.21	8368.82	33515.94	286.92	836.88	3351.59

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA				Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024					
Presentación de datos			Parámetros Elásticos del Terreno				Ubicación del proyecto				
Coordenadas del centro			Este (m)		Norte (m)		Chota-Chota-Cajamarca				
MASW-08		LRS-08		761519.00		9273694.38		Sector Lagunas / zona 03			
RELACIONES DE POISSON						FORMULACIONES					
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996)			
Arena Suelta		0.20 - 0.40		Stoke y Woods (1972)		v=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.		$V_P = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}} \qquad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$			
Arena Media		0.25 - 0.40									
Arena Densa		0.30 - 0.45									
Arena Limosa		0.20 - 0.40		Davis y Schuteiss (1980)		0.4982 < v < 0.4997, para arcillas		Relacionando las velocidades de onda (Kramer, 1996)			
Arena Blanda		0.15 - 0.25									
Arena Media		0.20 - 0.50		Stuempel et al. (1984) / Meissner et al. (1995)		v=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.		$\text{Relación de Poisson (v)} \qquad v = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$			
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tiab y Donaldson (1996)		0.14 < v < 0.41, para diferentes litologías y grados de saturación.		$\text{Módulo de Young (E}_d\text{)} \qquad E_d = 2(1 + v)G$			
Arcilla		0.40 - 0.45									
Arena		0.30 - 0.40									
Roca		0.30 - 0.25		Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canaveralejo, Cali, Colombia.				$\text{Módulo de Corte (G}_{max}\text{)} \qquad G_{max} = \rho V_s^2$			
Rosales, Cristina. (2001).											
Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	p (t/m³)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte (Gd) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ed) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Kd) (kg/cm²)	Módulo de corte (Ge) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ee) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Ke) (t/m²)
1.07	202.10	346.75	1.29	1.72	0.24	535.96	1332.15	863.15	53.60	133.21	86.31
2.31	209.02	366.86	1.29	1.76	0.26	574.76	1448.04	1004.25	57.48	144.80	100.42
3.71	231.82	424.26	1.30	1.83	0.29	712.92	1835.32	1437.33	71.29	183.53	143.73
4.00	241.20	468.84	1.30	1.94	0.32	774.47	2044.65	1893.47	77.45	204.47	189.35
5.27	250.59	510.62	1.31	2.04	0.34	838.79	2250.25	2364.27	83.88	225.03	236.43
6.00	263.71	552.39	1.32	2.09	0.35	933.34	2524.50	2850.79	93.33	252.45	285.08
7.01	276.83	635.00	1.32	2.29	0.38	1033.38	2857.66	4059.46	103.34	285.77	405.95
8.00	290.75	750.73	1.33	2.58	0.41	1145.61	3234.67	6110.44	114.56	323.47	611.04
8.90	304.66	866.46	1.33	2.84	0.43	1264.17	3614.18	8539.44	126.42	361.42	853.94
10.00	328.85	1027.54	1.35	3.12	0.44	1485.54	4287.10	12522.97	148.55	428.71	1252.30
15.00	361.08	1533.87	1.36	4.25	0.47	1811.32	5327.68	30271.81	181.13	532.77	3027.18

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA		Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024							
Presentación de datos				Parámetros Elásticos del Terreno				Ubicación del proyecto			
Coordenadas del centro				Este (m)		Norte (m)		Chota-Chota-Cajamarca			
MASW-09		LRS-09		761584.77		9273721.85		Sector Lagunas / zona 03			
RELACIONES DE POISSON						FORMULACIONES					
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996)			
Arena Suelta		0.20 - 0.40		Stoke y Woods (1972)		v=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.		$V_p = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}} \qquad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$			
Arena Media		0.25 - 0.40									
Arena Densa		0.30 - 0.45									
Arena Limosa		0.20 - 0.40		Davis y Schuteiss (1980)		0.4982 < v < 0.4997, para arcillas		Relacionando las velocidades de onda (Kramer, 1996)			
Arena Blanda		0.15 - 0.25									
Arena Media		0.20 - 0.50		Stuempel et al. (1984) / Meissner et al. (1995)		v=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.		$\text{Relación de Poisson (v)} \qquad v = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$			
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tiab y Donaldson (1996)		0.14 < v < 0.41, para diferentes litologías y grados de saturación.		$\text{Módulo de Young (E}_d\text{)} \qquad E_d = 2(1 + v)G$			
Arcilla		0.40 - 0.45									
Arena		0.30 - 0.40									
Roca		0.30 - 0.25		Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canaveralejo, Cali, Colombia.				$\text{Módulo de Corte (G}_{max}\text{)} \qquad G_{max} = \rho V_s^2$			
Rosales, Cristina. (2001).											
Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	p (t/m³)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte (Gd) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ed) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Kd) (kg/cm²)	Módulo de corte (Ge) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ee) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Ke) (t/m²)
1.07	195.93	327.71	1.28	1.67	0.22	502.60	1228.21	735.96	50.26	122.82	73.60
2.31	202.27	341.64	1.29	1.69	0.23	536.90	1320.94	815.87	53.69	132.09	81.59
3.71	225.84	375.91	1.30	1.66	0.22	675.17	1644.16	970.34	67.52	164.42	97.03
4.00	241.11	401.21	1.30	1.66	0.22	773.87	1884.13	1110.97	77.39	188.41	111.10
5.27	256.38	426.52	1.31	1.66	0.22	879.87	2141.83	1261.92	87.99	214.18	126.19
6.00	276.08	491.07	1.32	1.78	0.27	1027.53	2607.72	1880.84	102.75	260.77	188.08
7.01	295.78	565.61	1.33	1.91	0.31	1187.73	3116.15	2759.71	118.77	311.61	275.97
8.00	315.45	605.17	1.34	1.92	0.31	1360.47	3573.85	3193.09	136.05	357.39	319.31
8.90	335.12	684.73	1.35	2.04	0.34	1546.17	4151.47	4393.24	154.62	415.15	439.32
10.00	365.54	798.94	1.36	2.19	0.37	1859.24	5085.47	6402.81	185.92	508.55	640.28
15.00	406.38	1098.97	1.38	2.70	0.42	2330.62	6622.68	13936.77	233.06	662.27	1393.68

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA		Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024							
Presentación de datos				Parámetros Elásticos del Terreno				Ubicación del proyecto			
Coordenadas del centro				Este (m)		Norte (m)		Chota-Chota-Cajamarca			
MASW-10		LRS-10		761402.41		9273956.15		Sector Lagunas / zona 04			
RELACIONES DE POISSON						FORMULACIONES					
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996)			
Arena Suelta		0.20 - 0.40		Stoke y Woods (1972)		v=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.		$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \qquad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$			
Arena Media		0.25 - 0.40									
Arena Densa		0.30 - 0.45									
Arena Limosa		0.20 - 0.40		Davis y Schuteiss (1980)		0.4982 < v < 0.4997, para arcillas		Relacionando las velocidades de onda (Kramer, 1996)			
Arena Blanda		0.15 - 0.25									
Arena Media		0.20 - 0.50		Stuempel et al. (1984) / Meissner et al. (1995)		v=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.		$\text{Relación de Poisson (v)} \qquad v = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$			
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tiab y Donaldson (1996)		0.14 < v < 0.41, para diferentes litologías y grados de saturación.		$\text{Módulo de Young (E}_d\text{)} \qquad E_d = 2(1 + v)G$			
Arcilla		0.40 - 0.45									
Arena		0.30 - 0.40									
Roca		0.30 - 0.25		Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canaveralejo, Cali, Colombia.				$\text{Módulo de Corte (G}_{max}\text{)} \qquad G_{max} = \rho V_s^2$			
Rosales, Cristina. (2001).											
Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	p (t/m³)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte (Gd) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ed) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Kd) (kg/cm²)	Módulo de corte (Ge) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ee) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Ke) (t/m²)
1.07	561.07	1090.23	1.46	1.94	0.32	4678.58	12350.25	11427.22	467.86	1235.02	1142.72
2.31	563.35	1120.30	1.46	1.99	0.33	4720.22	12563.16	12373.56	472.02	1256.32	1237.36
3.71	555.98	1227.66	1.45	2.21	0.37	4586.47	12576.04	16247.41	458.65	1257.60	1624.74
4.00	538.15	1352.29	1.45	2.51	0.41	4271.96	12012.06	21279.26	427.20	1201.21	2127.93
5.27	520.31	1476.91	1.44	2.84	0.43	3970.16	11347.89	26694.10	397.02	1134.79	2669.41
6.00	520.51	1487.44	1.44	2.86	0.43	3973.36	11365.63	27149.88	397.34	1136.56	2714.99
7.01	520.70	1497.98	1.44	2.88	0.43	3976.56	11383.18	27608.98	397.66	1138.32	2760.90
8.00	531.00	1668.59	1.44	3.14	0.44	4149.58	11981.13	35441.24	414.96	1198.11	3544.12
8.90	541.31	1785.70	1.45	3.30	0.45	4326.81	12542.60	41317.57	432.68	1254.26	4131.76
10.00	579.73	1902.81	1.47	3.28	0.45	5025.39	14561.98	47439.01	502.54	1456.20	4743.90
15.00	657.17	2459.10	1.50	3.74	0.46	6619.71	19350.03	83865.76	661.97	1935.00	8386.58

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA				Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024					
Presentación de datos				Parámetros Elásticos del Terreno				Ubicación del proyecto			
Coordenadas del centro				Este (m)		Norte (m)		Chota-Chota-Cajamarca			
MASW-11		LRS-11		761379.30		9273912.23		Sector Lagunas / zona 04			
RELACIONES DE POISSON						FORMULACIONES					
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996)			
Arena Suelta		0.20 - 0.40		Stoke y Woods (1972)		v=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.		$V_P = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}} \qquad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$			
Arena Media		0.25 - 0.40									
Arena Densa		0.30 - 0.45									
Arena Limosa		0.20 - 0.40		Davis y Schuteiss (1980)		0.4982 < v < 0.4997, para arcillas		Relacionando las velocidades de onda (Kramer, 1996)			
Arena Blanda		0.15 - 0.25									
Arena Media		0.20 - 0.50		Stuempel et al. (1984) / Meissner et al. (1995)		v=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.		$\text{Relación de Poisson (v)} \qquad v = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$			
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo		Relación de Poisson (v)		Tiab y Donaldson (1996)		0.14 < v < 0.41, para diferentes litologías y grados de saturación.		$\text{Módulo de Young (E}_d\text{)} \qquad E_d = 2(1 + v)G$			
Arcilla		0.40 - 0.45									
Arena		0.30 - 0.40									
Roca		0.30 - 0.25		Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canaveralejo, Cali, Colombia.				$\text{Módulo de Corte (G}_{max}\text{)} \qquad G_{max} = \rho V_s^2$			
Rosales, Cristina. (2001).											
Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	p (t/m³)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte (Gd) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ed) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Kd) (kg/cm²)	Módulo de corte (Ge) (kg/cm²)	Módulo de Young (Ee) (kg/cm²)	Módulo volumétrico (Ke) (t/m²)
1.07	428.31	992.12	1.39	2.32	0.39	2608.43	7227.79	10517.73	260.84	722.78	1051.77
2.31	445.72	1010.08	1.40	2.27	0.38	2841.56	7837.57	10804.29	284.16	783.76	1080.43
3.71	491.58	1018.17	1.42	2.07	0.35	3510.18	9463.57	10377.95	351.02	946.36	1037.80
4.00	497.19	1180.99	1.43	2.38	0.39	3597.44	10017.37	15500.46	359.74	1001.74	1550.05
5.27	502.80	1343.80	1.43	2.67	0.42	3685.93	10457.75	21413.80	368.59	1045.78	2141.38
6.00	514.14	1419.82	1.43	2.76	0.42	3868.62	11022.01	24343.91	386.86	1102.20	2434.39
7.01	525.48	1495.83	1.44	2.85	0.43	4056.37	11598.02	27460.15	405.64	1159.80	2746.02
8.00	541.07	1686.63	1.45	3.12	0.44	4322.70	12472.19	36239.84	432.27	1247.22	3623.98
8.90	556.66	1915.31	1.45	3.44	0.45	4598.75	13371.95	48310.77	459.87	1337.19	4831.08
10.00	611.29	2143.98	1.48	3.51	0.46	5644.72	16434.68	61909.60	564.47	1643.47	6190.96
15.00	749.08	2780.11	1.55	3.71	0.46	8850.80	25859.56	110113.15	885.08	2585.96	11011.31

Anexo E. MSFCEN



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**

Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024

ENSAYO

Método de selección de frecuencias de campo eléctrico natural

MSFCEN-02

Ubicación del ensayo

CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA

Lugar

Sector Lagunas / zona 1

Coordenadas MSFCEN

Este (m)

Norte (m)

Este (m)

Norte (m)

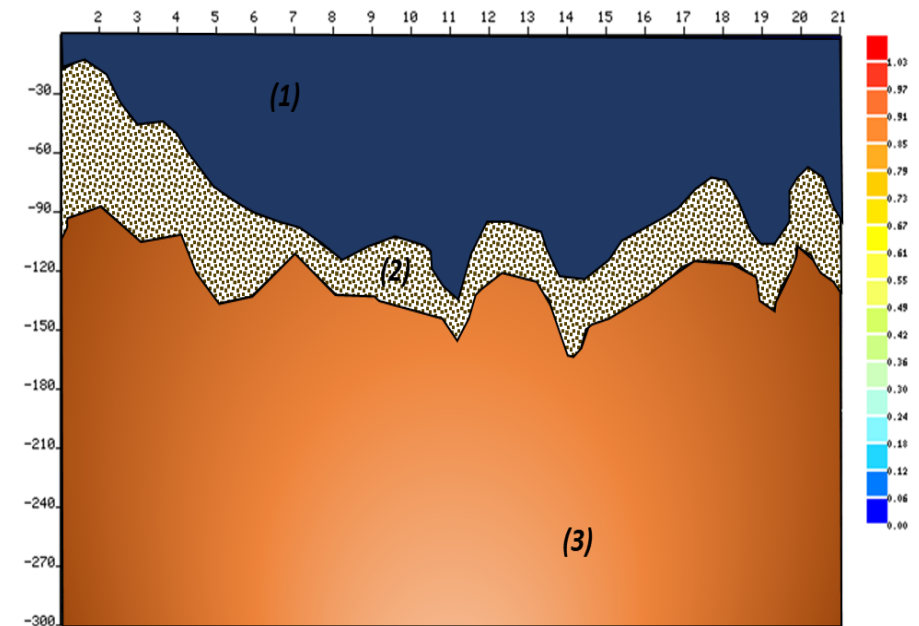
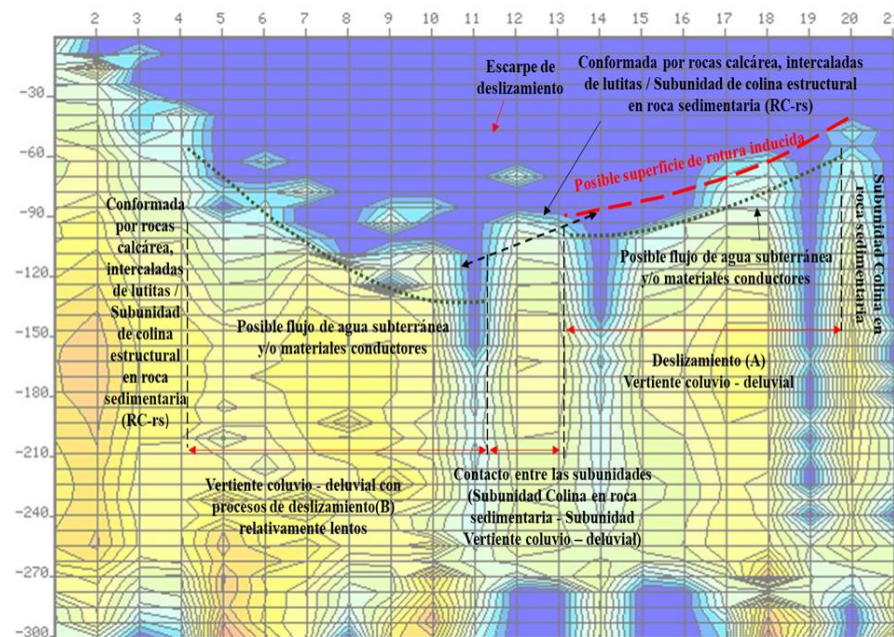
761971.00

9273492.00

9273348.00

PROCESAMIENTO DEL MÉTODO DE SELECCIÓN DE FRECUENCIAS

INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES

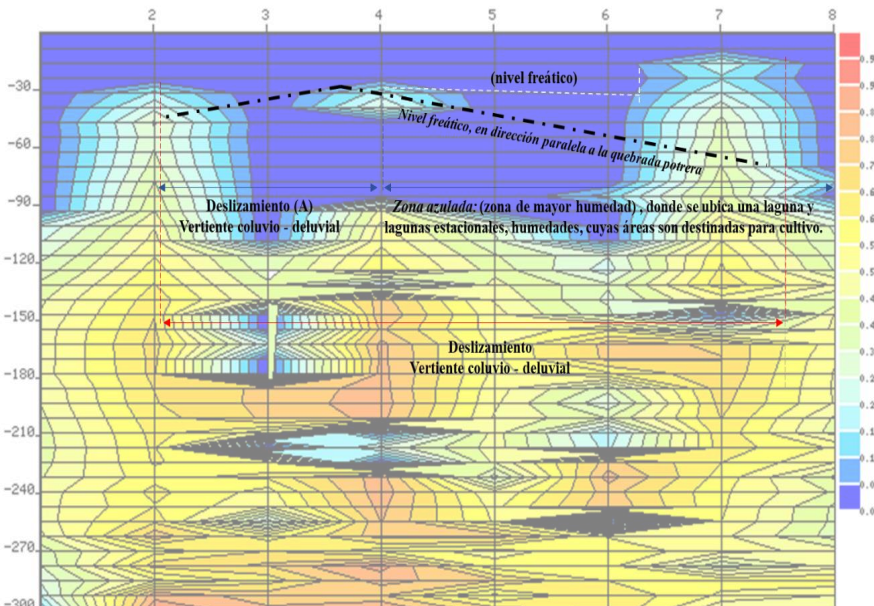
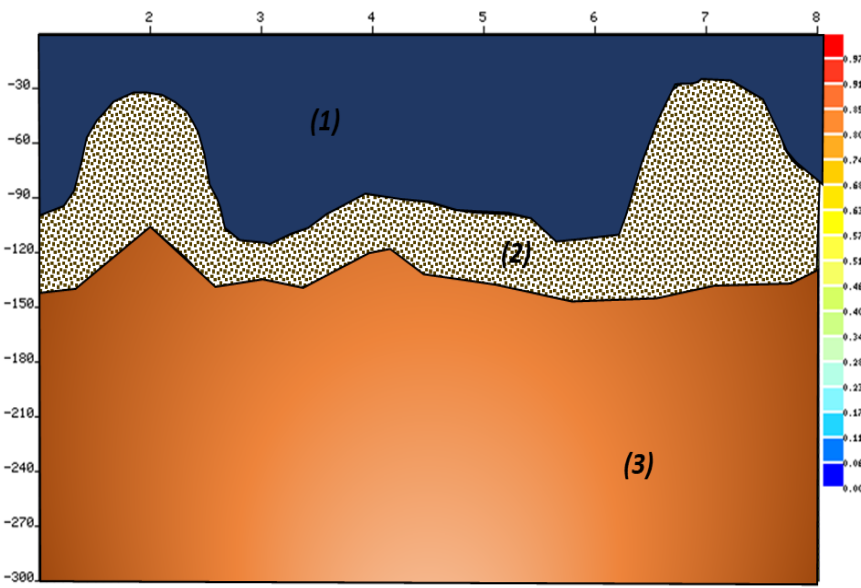


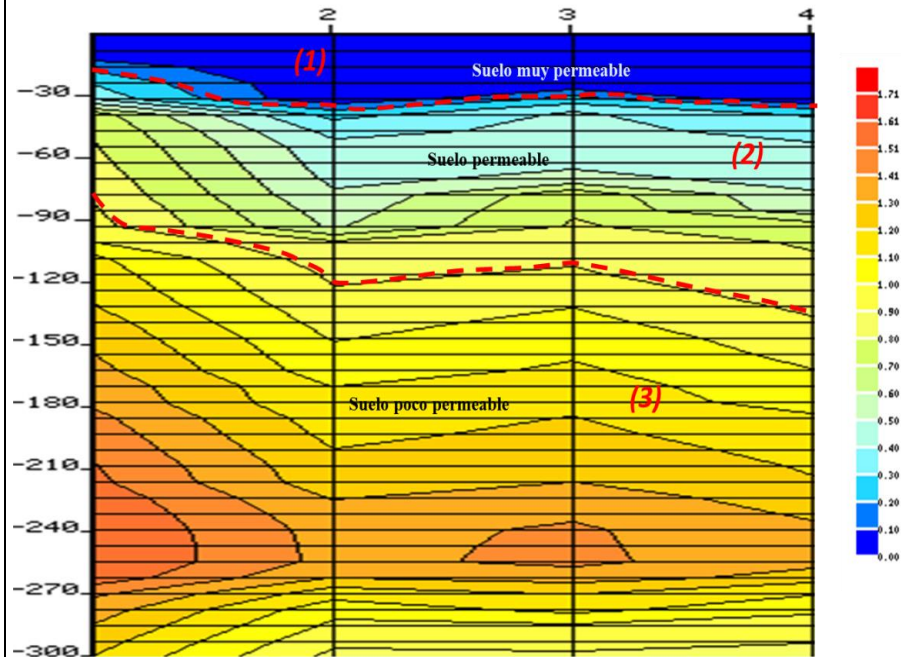
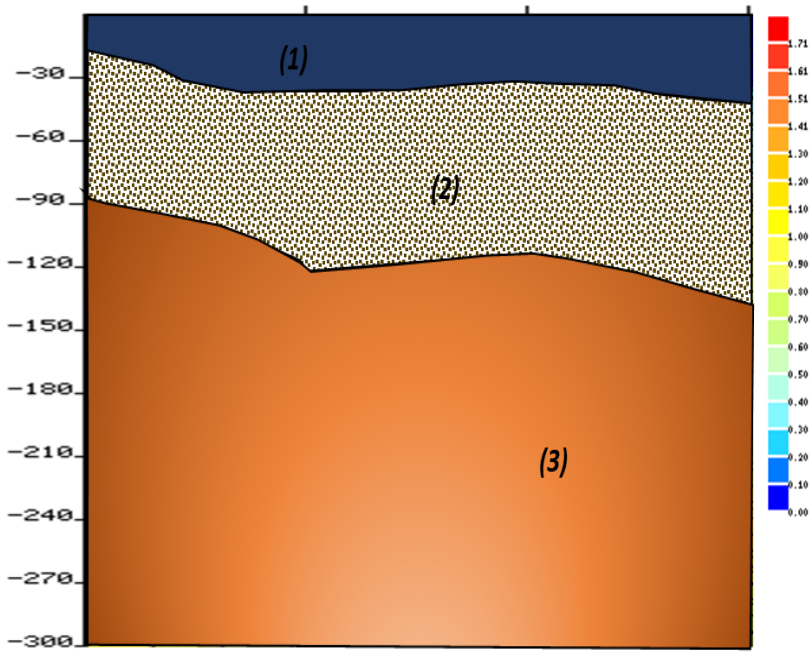
Resultados y conclusiones según los milivoltios (mV)

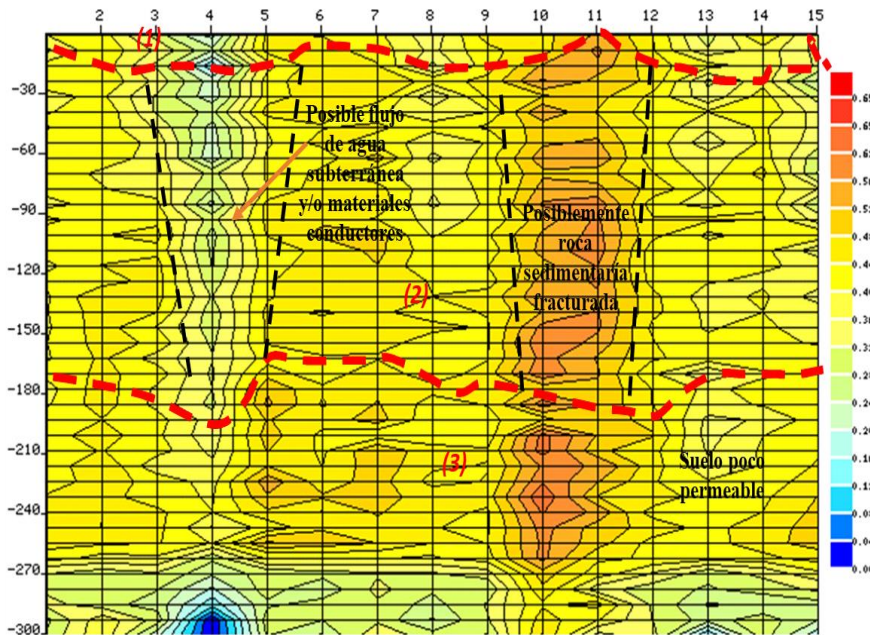
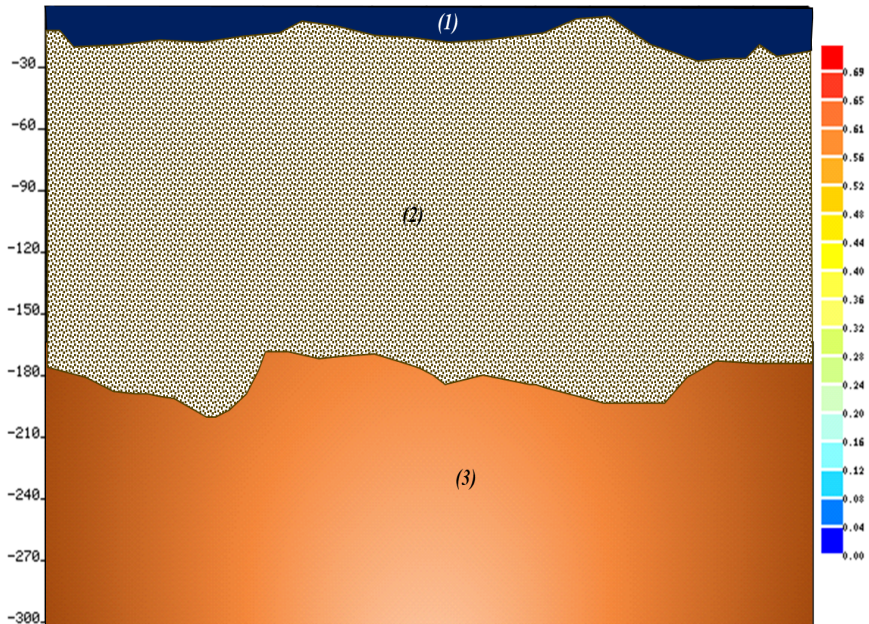
(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd). Zonas con un suelo húmedo a muy permeable.

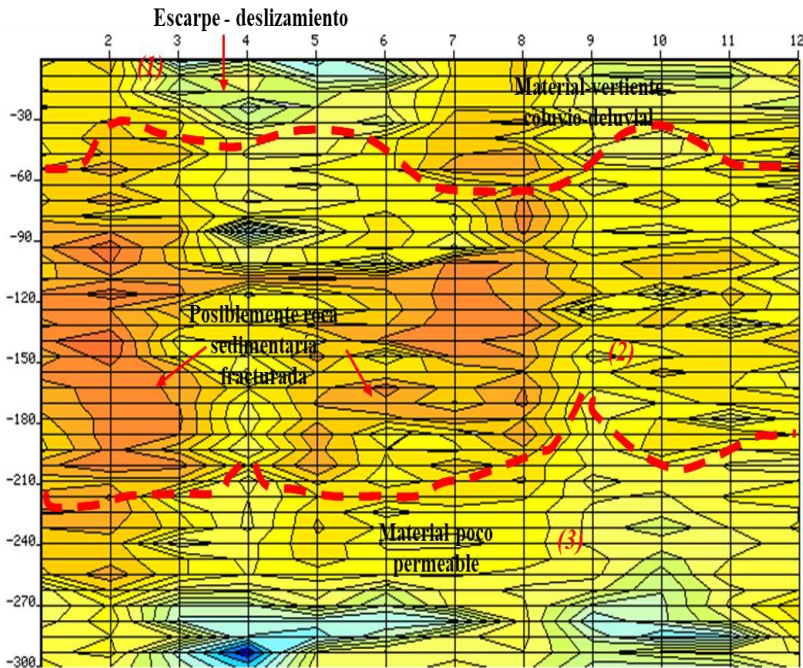
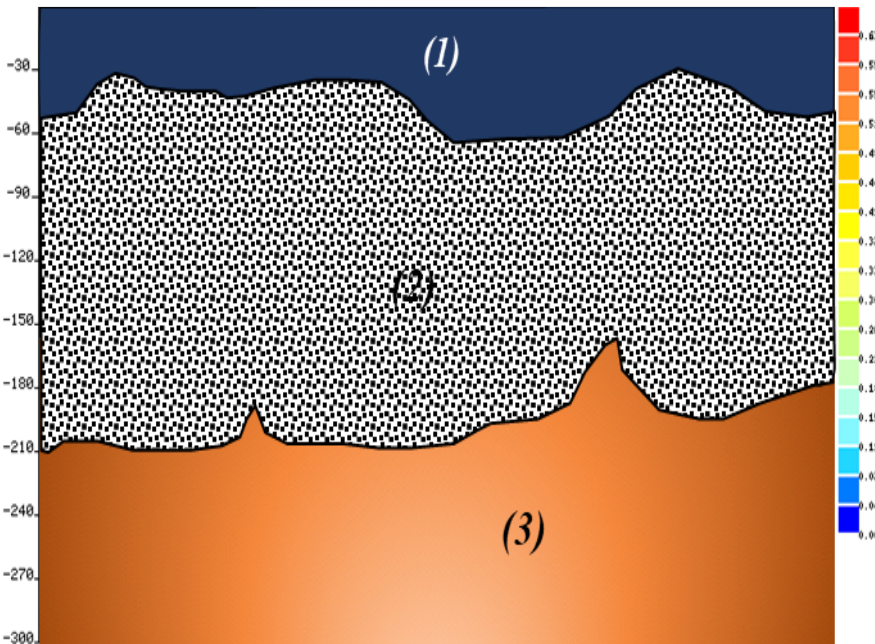
(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada de lutitas, suelo permeable.

(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas, suelos poco permeables.

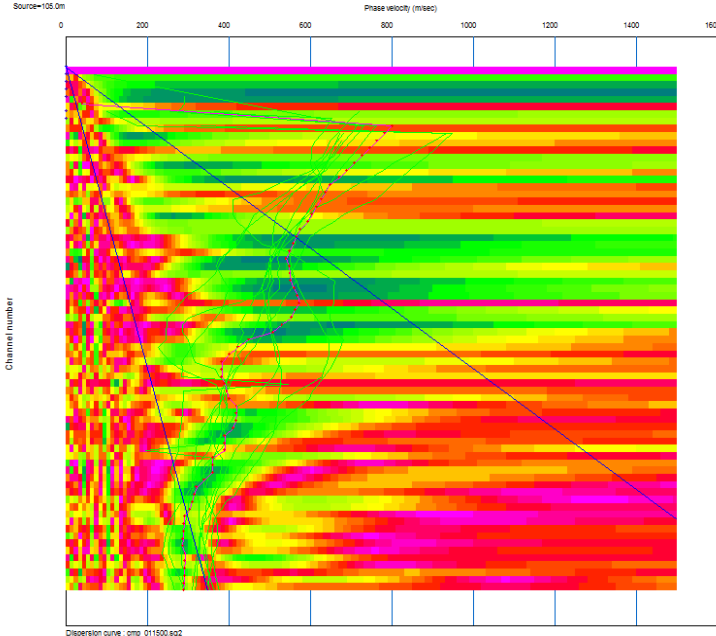
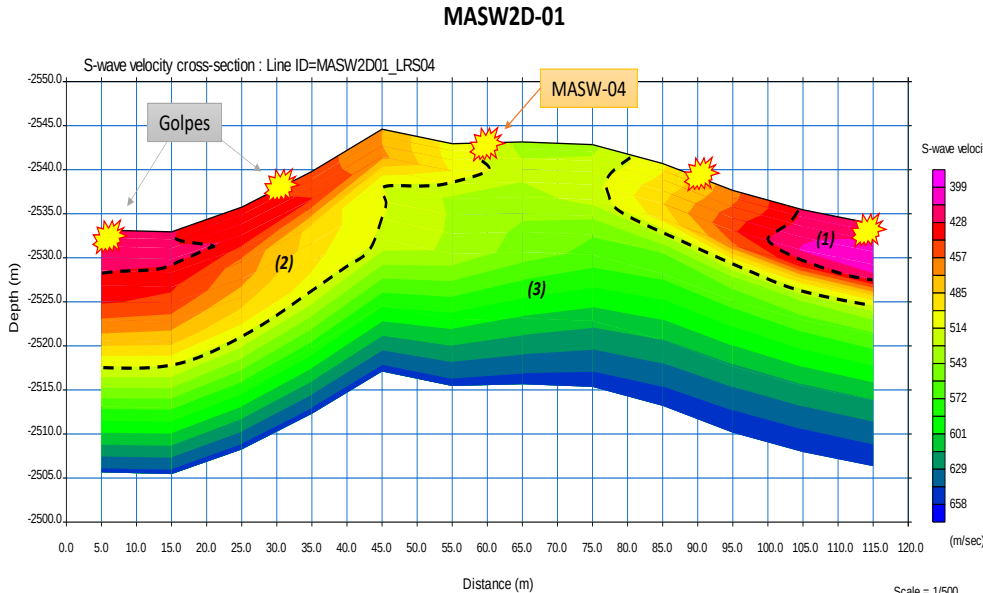
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
ENSAYO		Método de selección de frecuencias de campo eléctrico natural		MSFCEN-04	
Ubicación del ensayo		CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA			
Lugar		Sector Lagunas / zona 3			
Coordenadas MSFCEN		Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)
		761476.00	9273520.00	761816.00	9273814.00
PROCESAMIENTO DEL MÉTODO DE SELECCIÓN DE FRECUENCIAS		INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES			
					
Resultados y conclusiones según los milivoltios (mV)					
(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd). Zonas con un suelo húmedo a muy permeable.					
(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada de lutitas, suelo permeable.					
(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas, suelos poco permeables.					

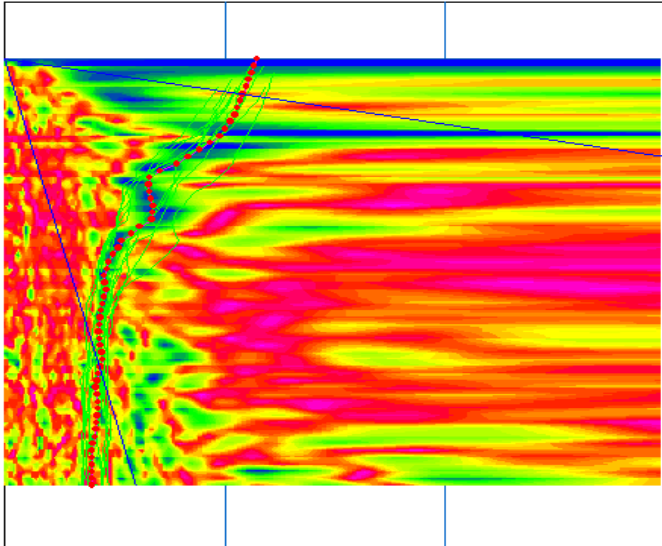
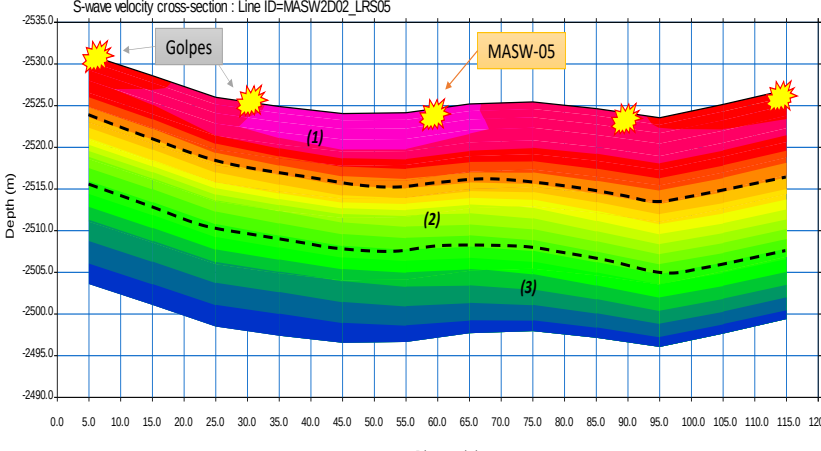
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
ENSAYO		Método de selección de frecuencias de campo eléctrico natural		MSFCEN-05	
Ubicación del ensayo		CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA			
Lugar		Sector Lagunas / zona 3			
Coordenadas MSFCEN		Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)
		761714.00	9273925.00	761652.00	9273864.00
PROCESAMIENTO DEL MÉTODO DE SELECCIÓN DE FRECUENCIAS		INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES			
					
Resultados y conclusiones según los milivoltios (mV)					
(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd). Zonas con un suelo húmedo a muy permeable.					
(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada de lutitas, suelo permeable.					
(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas, suelos poco permeables.					

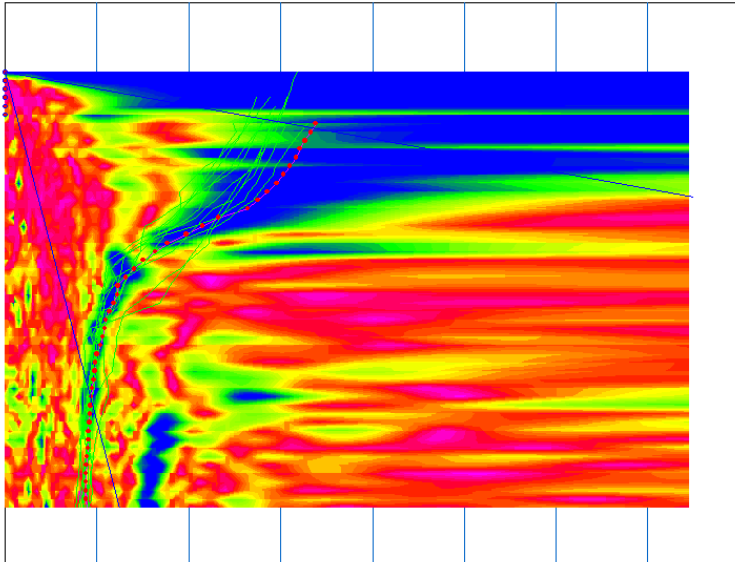
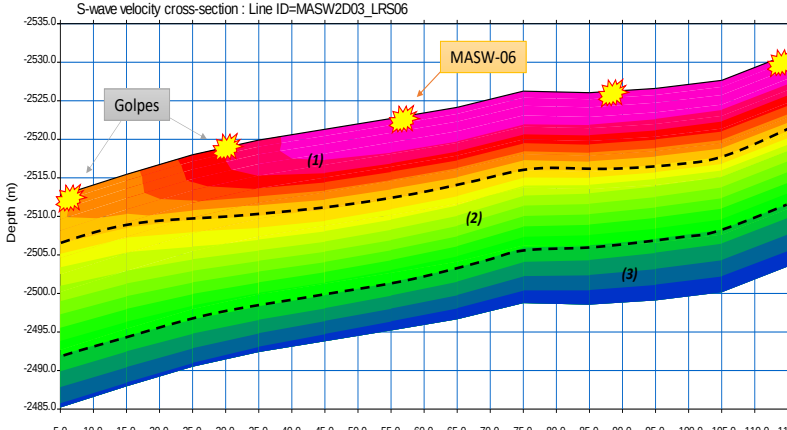
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
ENSAYO		Método de selección de frecuencias de campo eléctrico natural		MSFCEN-06	
Ubicación del ensayo		CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA			
Lugar		Sector Lagunas / zona 4			
Coordenadas MSFCEN		Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)
		761297.00	9273943.00	761440.00	9273893.00
PROCESAMIENTO DEL MÉTODO DE SELECCIÓN DE FRECUENCIAS		INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES			
					
Resultados y conclusiones según los milivoltios (mV)					
(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd). Zonas con un suelo húmedo a muy permeable.					
(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada de lutitas, suelo permeable.					
(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas, suelos poco permeables.					

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA		Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024		
ENSAYO		Método de selección de frecuencias de campo eléctrico natural		MSFCEN-07	
Ubicación del ensayo		CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA			
Lugar		Sector Lagunas / zona 4			
Coordenadas MSFCEN		Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)
		761439.00	9273998.00	761362.00	9273901.00
PROCESAMIENTO DEL MÉTODO DE SELECCIÓN DE FRECUENCIAS		INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES			
					
Resultados y conclusiones según los milivoltios (mV)					
(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd). Zonas con un suelo húmedo a muy permeable.					
(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada de lutitas, suelo permeable.					
(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas, suelos poco permeables.					

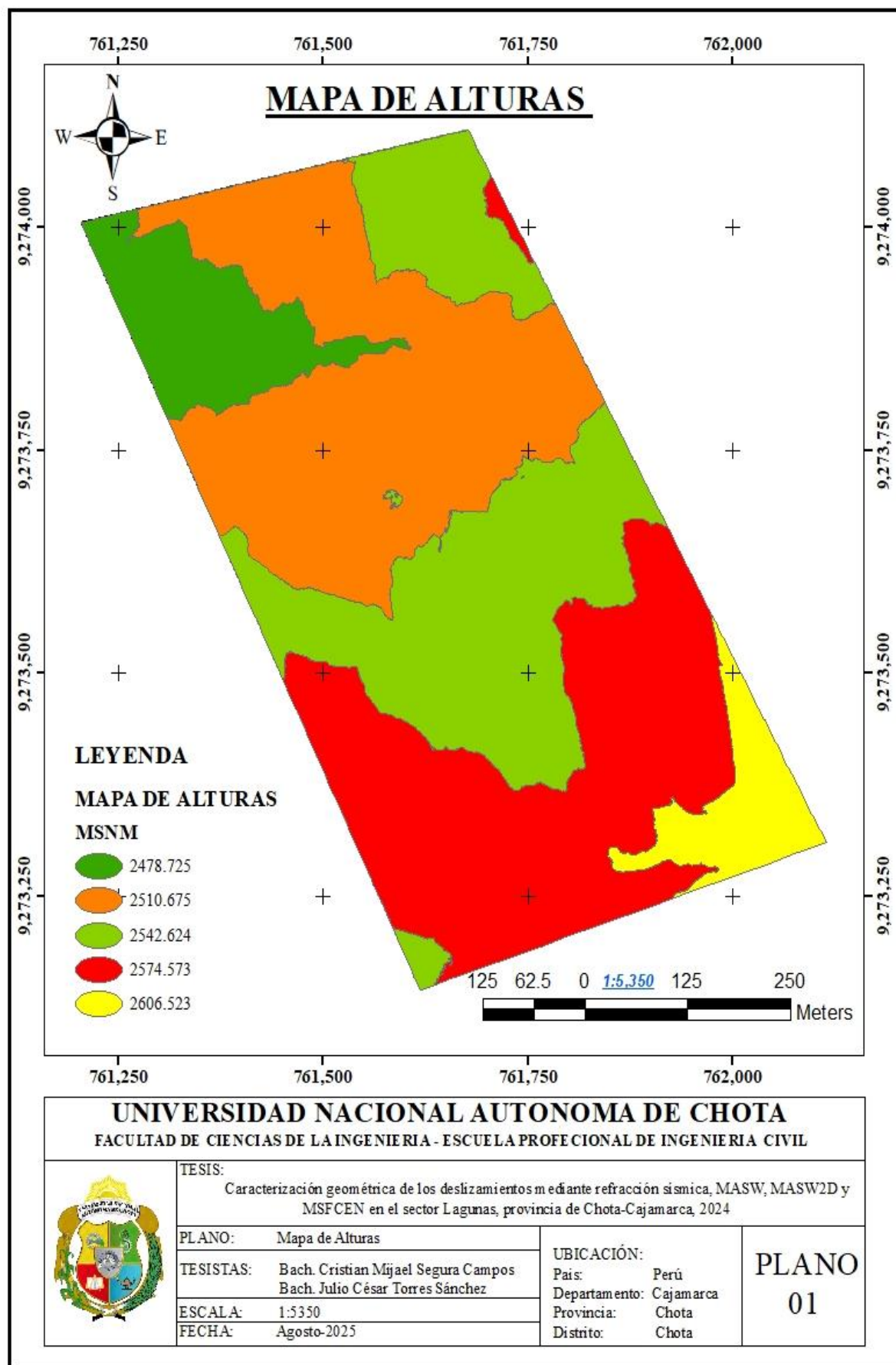
Anexo F. MASW-2D

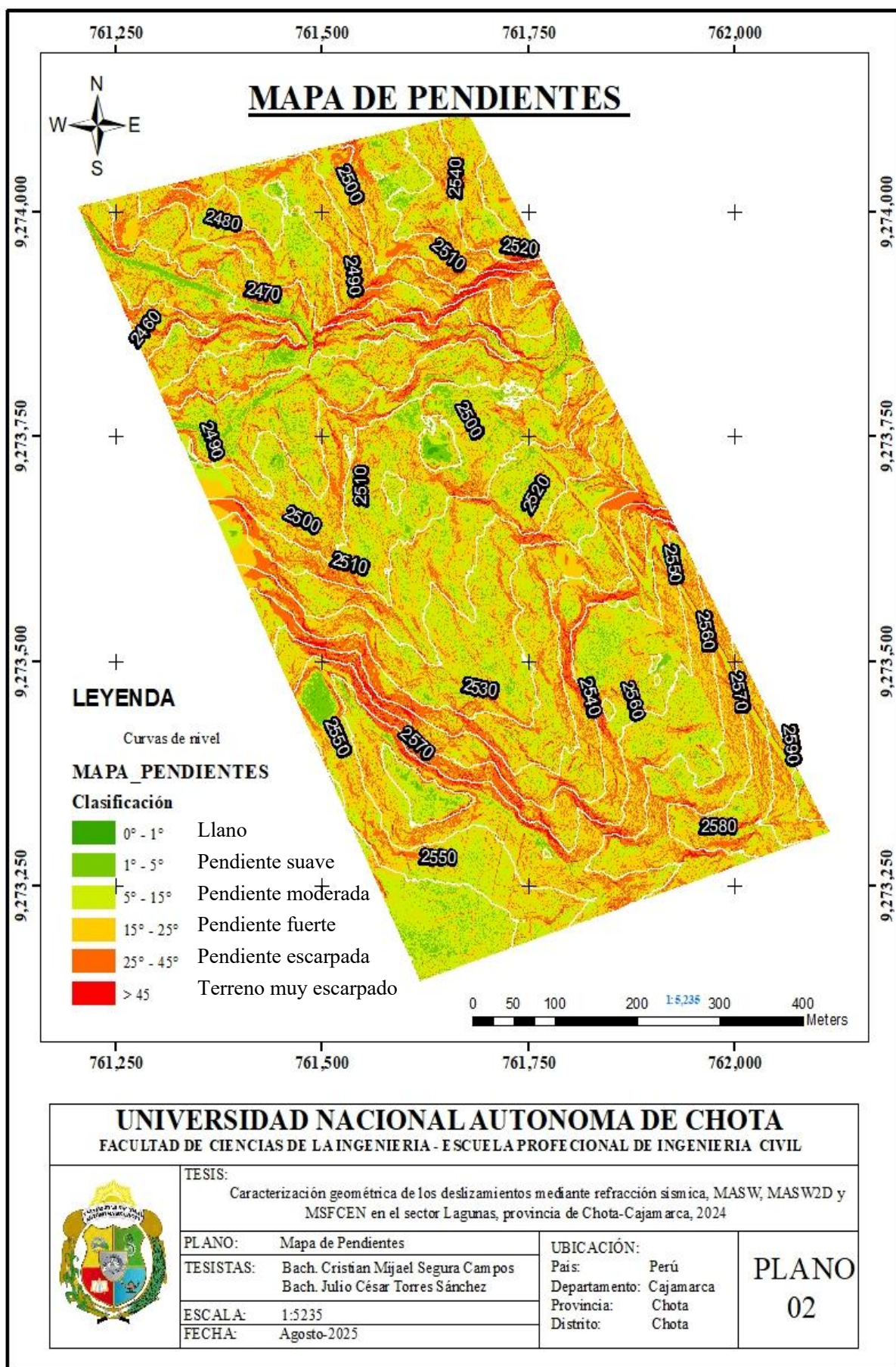
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA	Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024			
ENSAYO Ubicación del ensayo Lugar Coordenadas MASW-2D		Análisis de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal - 2D CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA Sector Lagunas / zona 2			MASW-2D 01
		Este (m) 761838.00	Norte (m) 9273614.00	Este (m) 761745.00	Norte (m) 9273538.00
CURVA DE DISPERSIÓN		INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES			
		MASW2D-01 S-wave velocity cross-section : Line ID=MASW2D01_LRS04 			
Resultados y conclusiones según los milivoltios (mV)					
(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd). Zonas con un suelo húmedo a muy permeable.					
(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada de lutitas, suelo permeable.					
(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas, suelos poco permeables.					

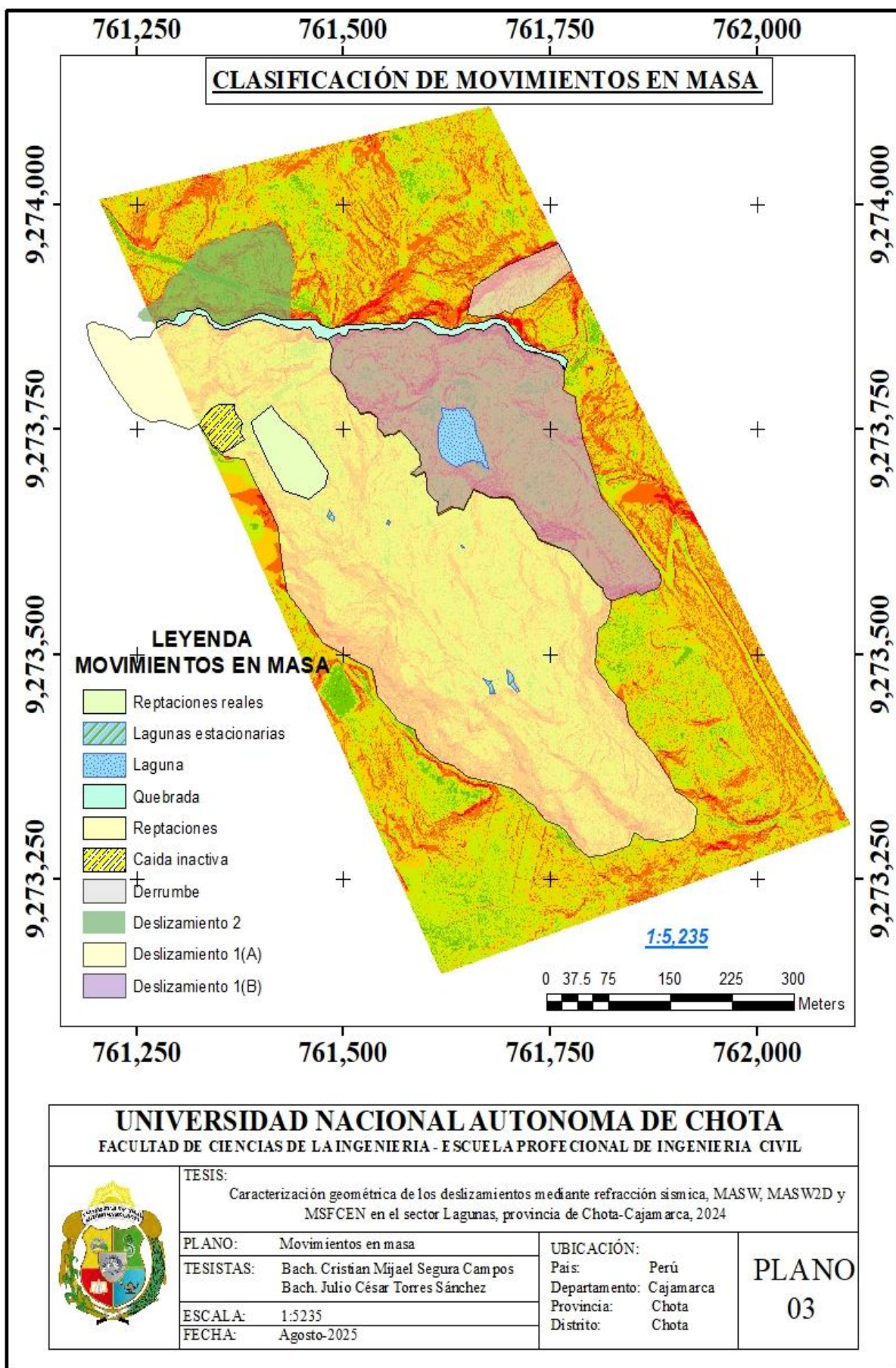
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA		Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024		
ENSAYO		Análisis de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal - 2D		MASW-2D 02	
Ubicación del ensayo		CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA			
Lugar		Sector Lagunas / zona 2			
Coordenadas MASW-2D		Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)
		761745.00	9273538.00	761644	9273461.00
CURVA DE DISPERSIÓN		INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES			
Source= 55.0m Phase velocity (m/sec) 050010001500 Channel number  Dispersion curve : cmp_011500.sg2		MASW2D-02 S-wave velocity cross-section : Line ID=MASW2D02_LRS05  Golpes MASW-05 (1) (2) (3) Depth (m) Distance (m) Scale = 1/500 S-wave velocity (m/sec) 218 251 283 315 347 379 411 443 476 508			
Resultados y conclusiones según los milivoltios (mV)					
(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd). Zonas con un suelo húmedo a muy permeable.					
(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada de lutitas, suelo permeable.					
(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas, suelos poco permeables.					

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA		Caracterización geométrica de los deslizamientos mediante refracción sísmica, MASW, MASW-2D y MSFCEN en el sector Lagunas en la provincia de Chota-Cajamarca, 2024		
ENSAYO		Análisis de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal - 2D		MASW-2D 03	
Ubicación del ensayo		CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA			
Lugar		Sector Lagunas / zona 2			
Coordenadas MASW-2D		Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)
		761658.00	9273624.00	761745.00	9273538.00
CURVA DE DISPERSIÓN		INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES			
Source= 65.0m Phase velocity (m/sec) 02004006008001000120014001600  Dispersion curve : cmp_011500.sg2		MASW2D-03 S-wave velocity cross-section : Line ID=MASW2D03_LRS06  Scale = 1/500			
Resultados y conclusiones según los milivoltios (mV)					
(1) Material conformado por una vertiente coluvio-deluvial (V-cd). Zonas con un suelo húmedo a muy permeable.					
(2) Material conformado por una roca sedimentaria de tipo calcárea intercalada de lutitas, suelo permeable.					
(3) Material conformado por una roca fracturada de origen sedimentario de tipo calcárea intercaladas de lutitas, suelos poco permeables.					

Anexo G. Mapas del área de estudio







Anexo H. Registro fotográfico



Fotografías N.º 01 y 02. Vista del deslizamiento rotacional complejo (deslizamiento 1 (A) y deslizamiento 1(B)).



Fotografía N.º 03. Vista del deslizamiento rotacional N º2, además de la quebrada Potrera en el pie del deslizamiento.



Fotografía N.º 04. Estado del deslizamiento en proceso de reactivación en el pie del deslizamiento.



Fotografía N.º 05. Afloramiento de agua permanentemente (los 12 meses del año) en la zona del material acumulado (Laguna del Amor).



Foto N.º 06-07: deslizamiento N.º



Foto N.º 08: deslizamiento N.º 2

Fotografías N.º 06, 07 y 08. Descripción geomorfológica, presencia de vertiente coluvie deluvial- Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria.



Fotografía N.º 9. Quebrada Potrera (periodo de estiaje) ubicado en el pie de los deslizamientos.



Fotografía N.º 10. Quebrada Potrera (activada en periodo de precipitaciones) ubicado en el pie de los deslizamientos.



Fotografía N.º 11. Se visualiza las lagunas estacionarias.



Fotografía N.º 12. Agua mineralizada y presencia de bofedales.



Fotografía N.º 13. Formación Celendín.



Fotografía N.º 14. Formación Chota.



Fotografía N.º 15. MSFCEN-01.



Fotografía N.º 16. MSFCEN-02.



Fotografía N.º 17. MSFCEN-03.



Fotografía N.º 18. MSFCEN-04.



Fotografía N.º 19. MSFCEN-05.



Fotografía N.º 20. MSFCEN-06-07.



Fotografía N.º 21. Grietas tensionales en la corona del deslizamiento N.º 2.



Fotografía N.º 22. Escarpe del deslizamiento N.º 2.



Fotografía N.º 23. Líneas sísmicas correspondiente al ensayo LRS-01 y MASW-01.



Fotografía N.º 24. Vista de la línea sísmica correspondiente al ensayo LRS-01 y MASW-01.



Fotografía N.º 25. Líneas sísmicas correspondiente al ensayo LRS-02 y MASW-02.



Fotografía N.º 26. Vista de las líneas sísmica correspondiente al ensayo LRS-02 y MASW-02.



Fotografía N.º 27. Líneas sísmicas correspondiente al ensayo LRS-03 y MASW-03.



Fotografía N.º 28. Vista de las líneas sísmicas correspondiente al ensayo LRS-03 y MASW-03.



Fotografía N.º 29. Líneas sísmicas correspondiente al ensayo LRS-04, MASW y MASW-2D 01.



Fotografías N.º 30 y 31. Vista de la línea sísmica correspondiente al ensayo LRS-04, MASW-04 y MASW-2D 01.



Fotografía N.º 32. Línea sísmica correspondiente al ensayo LRS-05, MASW-05 y MASW-2D 02.



Fotografía N.º 33. Vista de la línea sísmica correspondiente al ensayo LRS-05, MASW-05 y MASW-2D 02.



Fotografía N.º 34. Línea sísmica correspondiente al ensayo LRS-06 y MASW-06 y MASW-2D 03.



Fotografía N.º 35. Vista de líneas sísmicas correspondiente al ensayo LRS-06 y MASW-06 y MASW-2D 03.



Fotografía N.º 36. Línea sísmica correspondiente al ensayo LRS-07 y MASW-07.



Fotografía N.º 37. Vista de línea sísmica correspondiente al ensayo LRS-07 y MASW-07.



Fotografía N.º 38. Línea sísmica correspondiente al ensayo LRS-08 y MASW-08.



Fotografía N.º 39. Vista del área de trabajo correspondiente al ensayo LRS-08 y MASW-08.



Fotografía N.º 40. Línea sísmica correspondiente al ensayo LRS-09 y MASW-09.



Fotografía N.º 41. Vista del área de trabajo correspondiente al ensayo LRS-09 y MASW-09.



Fotografía N.º 42. Línea sísmica correspondiente al ensayo LRS-10 y MASW-10.



Fotografía N.º 43. Vista del área de trabajo correspondiente al ensayo LRS-10 y MASW-10.



Fotografía N.º 44. Línea sísmica correspondiente al ensayo LRS-11 y MASW-11.



Fotografía N.º 45. Vista de la línea sísmica correspondiente al ensayo LRS-11 y MASW-11.



Fotografía N.º 46. Foto final del proyecto (Gerente de la empresa Zear Engineering S.A.C, asesores y tesistas).